

日本国特許庁 21.6.2004
JAPAN PATENT OFFICE

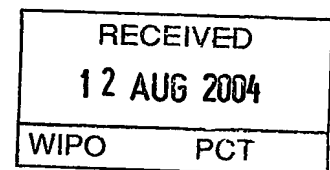
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 6月20日
Date of Application:

出願番号 特願2003-176778
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-176778]

出願人 日本電信電話株式会社
Applicant(s):



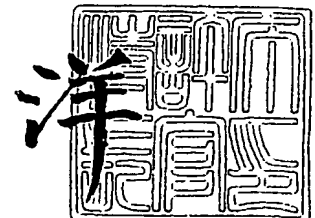
BEST AVAILABLE COPY

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 7月29日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH155410

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G09G 5/36
G09G 5/38
H04N 13/04
G06F 3/14

【発明の名称】 仮想視点画像生成方法及び仮想視点画像生成装置、なら
びに仮想視点画像生成プログラム及び記録媒体

【請求項の数】 11

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株
式会社内

【氏名】 國田 豊

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株
式会社内

【氏名】 橋本 秋彦

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100083552

【弁理士】

【氏名又は名称】 秋田 収喜

【選任した代理人】

【識別番号】 100103746

【弁理士】

【氏名又は名称】 近野 恵一

【電話番号】 03-3893-6221

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014579

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 仮想視点画像生成方法及び仮想視点画像生成装置、ならびに仮想視点画像生成プログラム及び記録媒体

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数のカメラで撮影された複数枚の被写体の画像を取得するステップと、前記被写体を見る位置（以下、仮想視点と称する）を決定するステップと、前記取得した被写体の画像をもとに前記視点から被写体を見たときの画像（以下、仮想視点画像と称する）を生成するステップとを有する仮想視点画像生成方法において、

前記仮想視点画像を生成するステップは、

多層構造をもつ投影面を設定するステップ 1 と、

前記投影面上の各点（以下、投影点と称する）と対応する、前記各被写体の画像上の点（以下、対応点と称する）を求めるステップ 2 と、

複数の対応点の色情報に基づいて前記投影点の色情報を決定するステップ 3 と

、
空間上のある基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体が存在する可能性の度合いを、前記対応点もしくはその近傍領域の相関の度合いに基づいて計算するステップ 4 と、

前記仮想視点から見て重なり合う基準点の色情報を、前記被写体が存在する可能性の度合いに応じた混合処理をして、前記仮想視点画像における各画素の色情報を決定するステップ 5 と、

前記仮想視点画像の画素に相当するすべての点について、前記ステップ 1 からステップ 5 までを繰り返し行うステップ 6 とを有することを特徴とする仮想視点画像生成方法。

【請求項 2】 前記ステップ 3 は、

前記複数の対応点の色情報を混合する、もしくは前記複数の対応点の色情報の中から 1 つの対応点の色情報を選択することを特徴とする請求項 1 に記載の仮想視点画像生成方法。

【請求項 3】 前記ステップ 4 または前記ステップ 5 は、前記被写体が存在

する可能性の度合いを変換して、前記投影面上の各基準点に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定するステップを有し、

前記ステップ5は、前記被写体が存在する可能性の度合いの代わりに、前記透明度に応じた混合処理をすることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の仮想視点画像生成方法。

【請求項4】 前記ステップ5の混合処理は、
前記仮想視点に遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に処理し、
ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得ることを特徴とする請求項3に記載の仮想視点画像生成方法。

【請求項5】 前記ステップ1は、前記各被写体の画像を撮影したカメラ毎に固有の投影面を設定し、

前記ステップ3の前記投影点の色情報は、前記複数のカメラにより撮影された被写体の画像の対応点の色情報のみを用いて決定し、

前記ステップ4の前記被写体が存在する可能性の度合いは、前記投影点が属する投影面に固有のカメラの視点を基準視点として計算し、

前記ステップ5の前記仮想視点の色情報の混合処理は、前記仮想視点と前記各基準視点との位置関係により補正することを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の仮想視点画像生成方法。

【請求項6】 複数のカメラで撮影された複数枚の被写体の画像を取得する被写体画像取得手段と、前記被写体を見る位置（以下、仮想視点と称する）を決定する仮想視点決定手段と、前記取得した被写体の画像をもとに前記視点から被写体を見たときの画像（以下、仮想視点画像と称する）を生成する画像生成手段とを備える仮想視点画像生成装置において、

前記画像生成手段は、

多層構造をもつ投影面を決定する投影面決定手段と、

基準視点の位置を決定する基準視点決定手段と、

前記投影面に貼り付けるテクスチャ画像の配列を確保するテクスチャ配列確保手段と、

前記複数枚の被写体の画像間で、前記被写体の同一の領域が撮影されている箇所との対応付けを行う対応点マッチング処理手段と、

前記複数枚の被写体の画像を混合処理して、前記テクスチャ画像の配列のうちの色情報を決定する色情報決定手段と、

前記対応点マッチング処理手段の処理結果に基づいて、前記テクスチャ画像の配列のうちの、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体が存在する可能性の度合い（以下、存在確率情報と称する）を決定する存在確率情報決定手段と、

前記色情報決定手段で決定した色情報及び前記存在確率情報決定手段で決定した存在確率情報に基づいて、前記仮想視点から見た前記投影面をレンダリングするレンダリング手段とを備えることを特徴とする仮想視点画像生成装置。

【請求項 7】 前記存在確率情報決定手段は、前記存在確率情報を変換して、前記投影面上の各基準点に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定する手段を備え、

前記レンダリング手段は、前記被写体が存在する可能性の度合いの代わりに、前記透明度を用いてレンダリングすることを特徴とする請求項 6 に記載の仮想視点画像生成装置。

【請求項 8】 レンダリング手段は、前記仮想視点に遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に処理する手段を備え、

ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得ることを特徴とする請求項 7 に記載の仮想視点画像生成装置。

【請求項 9】 前記投影面決定手段は、前記各被写体の画像を撮影したカメラ毎に固有の投影面を決定し、

前記色情報決定手段は、前記複数のカメラにより撮影された被写体の画像の対応点の色情報のみを用いて決定し、

前記存在確率情報決定手段は、前記投影点が属する投影面に固有のカメラの視点を基準視点として計算し、

前記レンダリング手段は、前記仮想視点と前記各基準視点との位置関係により補正する手段を備えることを特徴とする請求項 6 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載の仮想視点画像生成装置。

【請求項 10】 請求項 1 乃至請求項 5 のいずれかに記載の仮想視点画像生成方法の各ステップを、コンピュータに実行させるための仮想視点画像生成プログラム。

【請求項 11】 請求項 10 に記載の仮想視点画像生成プログラムが、コンピュータで読み取り可能な状態で記録された記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、仮想視点画像生成方法及び仮想視点画像生成装置、ならびに仮想視点画像生成プログラム及び記録媒体に関し、特に、テレビ電話等の視覚的なコミュニケーションを支援するシステムに適用して有効な技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、コンピュータグラフィックス (CG; Computer Graphics) やバーチャルリアリティ (VR; Virtual Reality) の分野では、カメラが設置された視点位置からだけでなく、利用者が望む視点位置から見た被写体の画像をコンピュータにより生成する技術が盛んに研究されている。

【0003】

これらの技術の多くでは、複数の視点位置で撮影した画像をもとに被写体の幾何的なモデルを取得した後、その幾何モデルをポリゴンやボクセルと呼ばれる基本図形の集まりとして表現し、透視射影や正射影などの 2 次元変換を行って所望の視点からの画像 (仮想視点画像) を生成する。

【0004】

また、これらの処理のうち、被写体の幾何モデルを取得する方法は、コンピュータビジョン (CV; Computer Vision) の分野では Shape from X として数多くの研究がなされている。

【0005】

前記Shape from Xでは、例えば、対応点マッチング、すなわち多視点画像間の対応付けを行い、三角測量の原理で被写体上の各点までの距離を求めるステレオ法と呼ばれる方法がある（例えば、非特許文献1を参照。）。

【0006】

ただし、前記ステレオ法で即座に幾何モデルが得られるわけではなく、得られるのは被写体表面の点群である。そのため、前記幾何モデルを得るためには、どの点とどの点が繋がり、それらがどういった面をなすかという構造情報を決定する必要がある（例えば、非特許文献2を参照。）。そのため、被写体形状の当てはめや統計処理などの複雑な処理のために相応の計算機パワーが必要となる。

【0007】

さらに、前記ステレオ法は被写体や環境の影響を受けやすく、いつでも、そしてどこでも信頼性の高い距離情報を得られるとは限らない（例えば、非特許文献3を参照）。そのため、信頼性の低い推定をして誤った距離を推定した場合、例えば、生成画像ではその箇所が不連続なノイズとなって現れる。このとき、前記生成した仮想視点画像6は、例えば、図20に示すように、被写体7の一部に欠損領域7Bが生じているように見える。

【0008】

また、前記ステレオ法と並んで代表的な方法に、複数の視点位置で撮影した被写体の輪郭をもとに空間中で被写体が占める領域を決めるShape from Silhouetteと呼ばれる方法（例えば、非特許文献4を参照。）がある。

【0009】

しかし、前記Shape from Silhouetteと呼ばれる方法（以下、Silhouette法と称する）は、原理的に被写体が凸形状であることを仮定している。そのため、凹形状の被写体に対しては正しくモデルを取得することができない。

【0010】

また、前記Silhouette法は、背景画像と被写体の輪郭を正確に抽出すること自体が難しく、未だコンピュータビジョン分野における主要な研究課題となっており、不正確な輪郭抽出から得られる幾何モデルの信頼性は十分でなく、生成され

る仮想視点画像の品質も満足なものではない。

【0011】

さらには、前記Silhouette法で得られるモデルは、ボクセルと呼ばれる微小な立方体の集まりとして表現されることが多く、その場合のデータ量は膨大な量になる。そのため、処理時間も計算機パワーも非常に大量に要求される。

【0012】

以上で述べた従来法の問題をまとめると、幾何モデルの推定は難しく推定の信頼性が低い箇所では誤差が生成画像の劣化に大きく影響することと、幾何モデルのデータ形式が扱いづらく計算機パワーを要することの2つに大別される。

【0013】

そのうち後者の問題を解決すべく、テクスチャマッピング（画像の貼り付け）した多層平面で被写体を表現する方法が開示されている（例えば、非特許文献5，非特許文献6を参照。）。

【0014】

前記テクスチャマッピングは、安価なパーソナルコンピュータに搭載されているグラフィックスハードウェアでも十分高速に処理することができるとともに、データの扱いが容易であるという利点がある。

【0015】

その一方、前記テクスチャマッピングでは、平面の設置間隔があまり広いと被写体の形状を精細に表現できない。そのため、大まかな形状は平面で表現し、残りの微細な形状はテクスチャの画素毎に色情報（R，G，B）のに加えてもう1つの値（以下、デプス値と呼ぶ）として持たせるような工夫がなされる。

【0016】

そして、例えば、前記非特許文献5では各テクスチャの画素の位置をデプス値に応じて変化させ、前記非特許文献6ではデプス値に応じて各画素の透明度を設定し、多層平面により表現しきれない微細な奥行きを表現している。

【0017】

しかし、どちらの方法も細かいデプス値が既知であること、すなわち被写体の形状が正確に求められていることを前提としており、前記仮想視点画像の生成に

関する 2 つの問題のうち、後者の問題しか考慮していない。

【0018】

すなわち、前記テクスチャマッピングによる画像生成においても、被写体形状の推定の信頼性が低い箇所で画像が激しく劣化することについては未解決のままである。

【0019】

【非特許文献 1】

Takeo Kanade et al.: "Virtualized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scenes," IEEE MultiMedia, Vol.4, No.1, pp.34-37, 1997.

【非特許文献 2】

池内克史: "画像による実物体のモデル作成", 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.6, pp.763-766, 1998.

【非特許文献 3】

奥富正敏: "ステレオがなぜ難しいか", 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.6, pp.39-43, 1998.

【非特許文献 4】

Potmesil, M.: "Generating Octree Models of 3D Objects from their Silhouettes in a Sequence of Images," CVGIP 40, pp.1-29, 1987.

【非特許文献 5】

Jonathan Shade et al.: "Layered Depth Images," SIGGRAPH98 Conference Proceedings, pp.231-242, 1998.


【非特許文献 6】

多湖, 新田, 苗村, 原島: "動的レイヤ表現を用いた Video-Based Rendering", 3次元画像コンファレンス2001, pp.33-36, 2001.

【0020】

【発明が解決しようとする課題】

前記従来技術で説明したように、従来の仮想視点画像の生成方法では、被写体の幾何モデルを求める際に、前記被写体の位置を推定したときの誤差がそのまま幾何モデルに反映される。そのため、生成された画像上の、前記推定の誤差が



大きい部分では画像が激しく劣化するという問題があった。

【0021】

また、従来の仮想視点画像の生成方法では、被写体形状の明確な幾何モデルを構築し、劣化の少ない仮想視点画像を生成するために膨大な計算機パワーを要する。そのため、普及型のパーソナルコンピュータ等では、高速な画像生成及び画像表示が難しいという問題があった。

【0022】

また、前記テクスチャマッピングのように、計算機（生成装置）の負荷を軽減する生成方法の場合でも、幾何モデルを求める際の推定の誤差が大きい部分では生成画像が激しく劣化するという問題があった。

【0023】

本発明の目的は、複数枚の被写体の画像をもとに仮想視点画像を生成する際に、被写体の位置推定の信頼性が低い部分で生じる画像の劣化を低減することが可能な技術を提供することにある。

【0024】

本発明の他の目的は、複数枚の被写体の画像をもとに仮想視点画像を生成する装置の処理時間を短縮する、あるいは装置にかかる負荷を軽減することが可能な技術を提供することにある。

【0025】

本発明の他の目的は、複数枚の被写体の画像をもとに仮想視点画像を生成する際に、普及型のパーソナルコンピュータでも部分的な画像の劣化が少なく、かつ、短時間で生成させることが可能な技術を提供することにある。

【0026】

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかになるであろう。

【0027】

【課題を解決するための手段】

本願において開示される発明の概要を説明すれば、以下の通りである。

【0028】

(1) 複数のカメラで撮影された複数枚の被写体の画像を取得するステップと、前記被写体を見る位置（以下、仮想視点と称する）を決定するステップと、前記取得した被写体の画像をもとに前記視点から被写体を見たときの画像（以下、仮想視点画像と称する）を生成するステップとを有する仮想視点画像生成方法において、前記仮想視点画像を生成するステップは、多層構造をもつ投影面を設定するステップ1と、前記投影面上の各点（以下、投影点と称する）と対応する、前記各被写体の画像上の点（以下、対応点と称する）を求めるステップ2と、複数の対応点の色情報に基づいて前記投影点の色情報を決定するステップ3と、空間上のある基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体が存在する可能性の度合いを、前記対応点もしくはその近傍領域の相関の度合いに基づいて計算するステップ4と、前記仮想視点から見て重なり合う基準点の色情報を、前記被写体が存在する可能性の度合いに応じた混合処理をして、前記仮想視点画像における各画素の色情報を決定するステップ5と、前記仮想視点画像の画素に相当するすべての点について、前記ステップ1からステップ5までを繰り返し行うステップ6とを有する仮想視点画像生成方法である。

【0029】

(2) 前記(1)の手段において、前記ステップ3は、前記複数の対応点の色情報を混合する、もしくは前記複数の対応点の色情報の中から1つの対応点の色情報を選択する。

【0030】

(3) 前記(1)または(2)の手段において、前記ステップ4または前記ステップ5は、前記被写体が存在する可能性の度合いを変換して、前記投影面上の各基準点に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定するステップを有し、前記ステップ5は、前記被写体が存在する可能性の度合いの代わりに、前記透明度に応じた混合処理をする。

【0031】

(4) 前記(3)の手段において、前記ステップ5の混合処理は、前記仮想視点に遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に処理し、ある投影点までの

混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得る。

【0032】

(5) 前記(1)から(4)のいずれかの手段において、前記ステップ1は、前記各被写体の画像を撮影したカメラ毎に固有の投影面を設定し、前記ステップ3の前記投影点の色情報は、前記複数のカメラにより撮影された被写体の画像の対応点の色情報のみを用いて決定し、前記ステップ4の前記被写体が存在する可能性の度合いは、前記投影点が属する投影面に固有のカメラの視点を基準視点として計算し、前記ステップ5の前記仮想視点の色情報の混合処理は、前記仮想視点と前記各基準視点との位置関係により補正する。

【0033】

(6) 複数のカメラで撮影された複数枚の被写体の画像を取得する被写体画像取得手段と、前記被写体を見る位置（以下、仮想視点と称する）を決定する仮想視点決定手段と、前記取得した被写体の画像をもとに前記視点から被写体を見たときの画像（以下、仮想視点画像と称する）を生成する画像生成手段とを備える仮想視点画像生成装置において、前記画像生成手段は、多層構造をもつ投影面を決定する投影面決定手段と、基準視点の位置を決定する基準視点決定手段と、前記投影面に貼り付けるテクスチャ画像の配列を確保するテクスチャ配列確保手段と、前記複数枚の被写体の画像間で、前記被写体の同一の領域が撮影されている箇所の対応付けを行う対応点マッチング処理手段と、前記複数枚の被写体の画像を混合処理して、前記テクスチャ画像の配列のうちの色情報を決定する色情報決定手段と、前記対応点マッチング処理手段の処理結果に基づいて、前記テクスチャ画像の配列のうちの、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体が存在する可能性の度合い（以下、存在確率情報と称する）を決定する存在確率情報決定手段と、前記色情報決定手段で決定した色情報及び前記存在確率情報決定手段で決定した存在確率情報に基づいて、前記仮想視点から見た前記投影面をレンダリングするレンダリング手段とを備える仮想視点画像生成装置である。

【0034】

(7) 前記(6)の手段において、前記存在確率情報決定手段は、前記存在

確率情報を変換して、前記投影面上の各基準点に透過から不透過までの複数の階調を持つ透明度を設定する手段を備え、前記レンダリング手段は、前記被写体が存在する可能性の度合いの代わりに、前記透明度を用いてレンダリングする。

【0035】

(8) 前記(7)の手段において、レンダリング手段は、前記仮想視点に遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に処理する手段を備え、ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを、前記透明度に応じた比率で内分して得る。

【0036】

(9) 前記(6)から(8)のいずれかの手段において、前記投影面決定手段は、前記各被写体の画像を撮影したカメラ毎に固有の投影面を決定し、前記色情報決定手段は、前記複数のカメラにより撮影された被写体の画像の対応点の色情報のみを用いて決定し、前記存在確率情報決定手段は、前記投影点が属する投影面に固有のカメラの視点を基準視点として計算し、前記レンダリング手段は、前記仮想視点と前記各基準視点との位置関係により補正する手段を備える。

【0037】

(10) 前記(1)から(5)のいずれかの手段である仮想視点画像生成方法の各ステップを、コンピュータに実行させるための仮想視点画像生成プログラムである。

【0038】

(11) 前記(10)の仮想視点画像生成プログラムが、コンピュータで読み取り可能な状態で記録された記録媒体である。

【0039】

前記(1)から(5)の手段によれば、従来の手段のようにあらゆる場合及びあらゆる箇所で被写体の正確な幾何モデルを得ようとするのではなく、被写体の撮影条件や部位によっては距離推定で十分な信頼性を持つ推定値が得られないことを前提とし、信頼性が低い推定値が得られた箇所については曖昧に描画して画像生成への寄与を低くし、極端な画像の劣化を防止するとともに、信頼性が高い

距離データが得られた箇所については明瞭に描画して画像生成への寄与を高くする。そのため、推定の信頼性が低い箇所の画像の劣化が目立たなくなる。

【0040】

また、前記（１）及び（２）の手段による画像生成では、基準視点と仮想視点が同一である場合には問題ないものの、両者が異なる場合に被写体の遮蔽領域付近で輝度の増加が生じることがある。そのため、例えば、前記（３）及び（４）の手段のようにすることで、この現象を防止することができる。

【0041】

また、前記（１）及び（２）の手段では、基準視点と仮想視点異なる場合、色情報を計算したときに有効な色情報の範囲内に収まる保証がないので、補正処理が必要となることがある。一方、前記（３）及び（４）の手段ではこのような補正は不要である。また、前記（３）及び（４）の手段を用いることで、半透過の被写体も効率的に表現することができ、現実世界に存在する、より多くの被写体に対して広く本発明を適用できる効果がある。

【0042】

またこのとき、前記（５）の手段のように、カメラ間の位置関係とは無関係にカメラ毎に固有の投影面群を設定すれば、カメラの配置が複雑であったり不規則であったりしても、投影面群の設定処理が影響を受けることはなく、一貫した処理方法により画像生成ができる。

【0043】

また、前記カメラ毎に固有の投影面群を設定した場合、投影面の色情報に関しては対応するカメラで撮影した画像間での混合処理が必要ない。そのため、例えば、計算機（コンピュータ）で処理する際に並列処理が可能であり、画像生成の高速化が可能である。

【0044】

また、同じカメラに対応付けされている投影面群の色情報はすべて同じであるため、計算機（コンピュータ）で処理する際に、色情報を格納するテクスチャメモリを共有できる。そのため、投影面の数ほどはメモリを消費することがなく、画像生成に用いる装置の負荷を低減することができる。

【0045】

またこのとき、ある投影面に対応するカメラは一意に決定されているため、両者の座標の対応関係をあらかじめ設定しておくことで、レンズの歪曲収差の補正などのキャリブレーションを容易にかつ高速に行うことができる。

【0046】

また、前記（6）から（9）の手段の仮想視点画像生成装置において、前記（1）から（5）の手段を用いて仮想視点画像を生成することで、画像の劣化が少ない仮想視点画像を容易に、かつ高速に生成することができる。

【0047】

また、前記（10）及び（11）の手段のように、前記（1）から（5）の手段の各ステップをコンピュータで実行させることが可能なプログラム及びその記録媒体を用いることで、専用の装置だけでなく、普及型のパーソナルコンピュータを用いても、画像の劣化が少ない仮想視点画像を容易に、かつ高速に生成することができる。

【0048】

以下、本発明について、図面を参照して実施の形態（実施例）とともに詳細に説明する。

なお、実施例を説明するための全図において、同一機能を有するものは、同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0049】

【発明の実施の形態】

本発明による実施例を説明する前に、まず、本発明における仮想視点画像生成方法の原理について説明する。

【0050】

図1乃至図4は、本発明における仮想視点画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、図1は投影面群、カメラ、基準視点、投影点、対応点の一例を示す図、図2（a）及び図2（b）は対応点間の相関度のグラフの一例を示す図、図3（a）は投影点の透明度に応じた混合処理の一例を示す図、図3（b）は透明度に応じた色情報の混合処理を色空間において表現した図、図4は被写体、

投影面群、基準視点、仮想視点、投影点の一例を示す図である。

【0051】

本発明における仮想視点画像の生成方法は、多層構造をもつ投影面群を設定するステップ1と、投影面上の各点（投影点）に対応する複数のカメラの撮影画像上の点（対応点）を求めるステップ2と、複数の対応点の色情報を混合もしくはそのうちの1つを選択することで投影点の色情報を決定するステップ3と、空間上のある視点（基準視点）から見て重なり合う複数の投影点について、各投影点の距離に被写体が存在する可能性の度合い（存在確率情報）を対応点もしくはその近傍領域の相関の度合いをもとに計算するステップ4と、仮想視点から見て重なり合う基準点の色情報を存在確率情報に応じた混合処理をして仮想視点における各画素の色情報を決定するステップ5と、仮想視点画像の画素に相当するすべての点について前記ステップ1からステップ5を繰り返し行うステップ6とを有する。すなわち、従来の手段のようにあらゆる場合及びあらゆる箇所で被写体の正確な幾何モデルを得ようとするのではなく、被写体の撮影条件や部位によっては距離推定で十分な信頼性を持つ推定値が得られないことを前提として、信頼性が低い推定値が得られた箇所については曖昧に描画して画像生成への寄与を低くし、極端な画像の劣化を防止するとともに、信頼性が高い距離データが得られた箇所については明瞭に描画して画像生成への寄与を高くする。

【0052】

ここで推定の信頼性は、撮影した画像の対応点の相関の程度（相関度）によって以下のように判別される。このとき、例えば、図1に示すように、基準視点R、カメラの中心位置 C_i ($i=1, 2, \dots, N$)、互いに平行な投影面 L_j ($j=1, 2, \dots, M$)を設定し、投影点 T_j を中心位置 C_i のカメラで撮影した対応点を G_{ij} とする。

【0053】

すると、例えば、投影面 L_m 上にある投影点 T_m について対応点の集合 $\{G_{im} | i=1, 2, \dots, N\}$ が得られ、それらの相関の程度（相関度）も計算できる。

【0054】

ここで、基準視点Rから見て直線上にある複数の投影点 T_j ($j=1, 2, \dots, M$) について相関度を計算し、横軸に基準視点Rと投影面の距離 l 、縦軸に相関度をと

ると、図 2 (a) あるいは図 2 (b) に示すようなグラフが得られる。相関度の具体的な計算方法については後の実施例で述べることとし、ここでは相関度が大きいほど対応点間の相関の程度が大きいものとして図示する。

【0055】

相関度が高い距離では複数のカメラにおける対応点は類似しており、投影点の位置で被写体上の同じ点を撮影している可能性が高いため、その距離に被写体が存在する可能性も高い。そして、基準視点 R を通る直線上で被写体が存在する距離が 1 つであると仮定すれば、図 2 (a) 及び図 2 (b) に示したように、最も高い相関度をとる距離 $l = l^*$ に被写体が存在すると推定できる。

【0056】

このとき、図 2 (a) に示したように、距離 $l = l^*$ における対応点の相関度が他の候補よりも非常に高い場合には信頼性の高い推定ができるが、図 2 (b) に示した、距離 $l = l^*$ と距離 $l = l'$ のように推定値の候補が複数あり、かつその対応点の相関度が同程度の場合には推定の信頼性が低くなる。

【0057】

従来の方法では、図 2 (b) に示したような場合でも、相関度が最も高い距離 $l = l^*$ に相当する投影点を 1 点だけ描画していた。そのため、推定の誤りにより、実際には被写体が距離 $l = l'$ にあった場合、生成画像に大きなノイズとなって現れてしまっていた。

【0058】

それに対し、本発明では相関度から被写体の存在する可能性（存在確率情報）を計算し、存在確率情報に応じた明瞭さで複数の投影点を描画することで、推定の信頼性が低い場合には複数の投影点が曖昧に描画され、生成画像のノイズが目立たず、観察者の見た目にはより良好な画像を生成する効果がある。

【0059】

一方、推定の信頼性が高い場合には存在確率情報が高い投影点が明瞭に描画されるため、より良好な画像を生成することが可能である。

【0060】

また、本発明の描画手法はコンピュータグラフィックスの基本的な手法であるテ

クスチャマッピングによりシンプルに実装でき、普及型のパーソナルコンピュータに搭載している3次元グラフィックスハードウェアで良好に処理できるほど計算機負荷が軽くなる効果がある。

【0061】

また、本発明による仮想視点画像生成方法では、投影面上の各基準点は透過から不透過までの階調を持つ透明度を有し、各基準点における透明度は上記ステップ4で得られる存在確率情報を変換することにより計算され、上記ステップ5で仮想視点における各点の色情報を得るための混合処理は仮想視点に遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に処理され、ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを透明度に応じた比率で内分して得る。このとき、混合処理により得られる色情報は、ある段階での色情報とその次の色情報の内分である。

【0062】

ここで、例えば、図3(a)に示すように、投影面 L_j ($j=1, 2, \dots, M$)、投影点 T_j ($j=1, 2, \dots, M$)、赤、緑、青(R, G, B)の成分を持ち、投影点の色情報を表すベクトル K_j ($j=1, 2, \dots, M$) が、下記数式1で表される色空間に設定されている場合を考える。

【0063】

【数1】

$$K_j \in V, V \equiv \{(R, G, B) | 0 \leq R \leq 1, 0 \leq G \leq 1, 0 \leq B \leq 1\}$$

【0064】

また、投影点の透明度 α_j ($j=1, 2, \dots, M$) は、下記数式2となるように設定されているものとする。

【0065】

【数2】

$$0 \leq \alpha_j \leq 1$$

【0066】

このとき、 $j=m$ までの混合処理で得られる色情報 D_m は、下記数式3及び数式4のような漸化式で表され、仮想視点から見て一番手前の $j=M$ まで混合処理した色情報 D_M が仮想視点における色情報となる。

【0067】

【数3】

$$D_m = \alpha_m K_m + (1 - \alpha_m) D_{m-1}$$

【0068】

【数4】

$$D_1 = \alpha_1 K_1$$

【0069】

このとき、前記数式2及び数式3の関係より、色情報 D_m は色空間 V において K_m と D_{m-1} の内分点であるため、図3(b)に示すように、 $K_m, D_{m-1} \in V$ ならば $D_m \in V$ である。

【0070】

すると、前記数式1及び数式2の条件を満たせば、仮想視点における色情報 D_M について、下記数式5のようになることが保証される。

【0071】

【数5】

$$D_M \in V$$

【0072】

前記数式5のような保証は、数学的帰納法により証明されるが、詳細な説明は省略する。

【0073】

つまり、投影点の色情報及び透明度を前記数式1及び数式2を満たすように設定すれば、仮想視点の色情報は必ず適切な色空間 V に納めることができる。

【0074】

以上のような特徴により、同一の被写体において複数の仮想視点画像を生成する場合に、ある 1 つの基準視点から投影点の色情報と透明度情報を計算したとしても、その色情報及び透明度が前記数式 1 及び数式 2 を満たせば、すべての仮想視点画像で適切な色情報の範囲で画像を生成することができる。

【0075】

ここで、例えば、図 4 に示すように、被写体 Obj があり、2 つの投影面 L_1 , L_2 、基準視点 R、仮想視点 P を設定した場合において、投影点 T_1 , T_2 , T_1' , T_2' における色情報がそれぞれ K_1 , K_2 , K_1' , K_2' 、被写体が存在する可能性の度合いが β_1 , β_2 , β_1' , β_2' である場合を考える。

【0076】

前記被写体が存在する可能性の度合い（存在可能性情報）は、基準視点 R を通る直線上で計算され、同一直線上の投影点における存在可能性情報の合計は 1 となり、投影点 T_1' 及び T_2 付近に被写体の表面が存在するため、この点での存在可能性情報は T_1 及び T_2' に比べて高くなる。すると、前記存在可能性情報は、下記数式 6 及び数式 7 のようになる。

【0077】**【数 6】**

$$\beta_1 \cong 0, \beta_2 \cong 1$$

【0078】**【数 7】**

$$\beta_1' \cong 1, \beta_2' \cong 1$$

【0079】

このとき、仮想視点 P の画像面の点 A における色情報 K_A は直線 PA 上にある投影点の色情報を存在可能性情報に応じた重み付けで加算することで計算され、下記数式 8 のようになる。

【0080】

【数 8】

$$K_A = \beta'_1 K'_1 + \beta_2 K_2$$

【0081】

また、前記数式 8 は、前記数式 6 及び数式 7 により、下記数式 9 のように表される。

【0082】

【数 9】

$$K_A \doteq K'_1 + K_2$$

【0083】

仮想視点 P から見たときに、 T_A' は T_A により遮蔽されているため、点 A における本来の色情報は $K_A = K_2$ であるが、前記数式 9 では K'_1 の分だけ (R, G, B) の各成分の輝度が上がってしまう。

【0084】

また、 K_A 及び K_A' の各成分が大きな輝度を持つ場合には、 K_A は有効な色空間の範囲を超えてしまう。そのため、有効な色情報の範囲内に収まるようにクリッピング処理が必要となる。

【0085】

そこで、例えば、後の実施例 2 で述べる計算方法により存在確率情報から透明度を求めると、下記数式 10 及び数式 11 と計算される。

【0086】

【数 10】

$$\alpha_2 = \beta_2, \alpha_1 = 1$$

【0087】

【数 11】

$$\alpha'_2 = \beta'_2, \alpha'_1 = 1$$

【0088】

ただし、前記数式10及び数式11において、 α_1 , α_2 , α_1' , α_2' はそれぞれ T_1 , T_2 , T_1' , T_2' における透明度である。

【0089】

ここで、仮想視点における各点の色情報を得るために、仮想視点に遠い投影点から近い投影点に向かって逐次的に混合処理し、ある投影点までの混合処理で得られる色情報は、その投影点における色情報とそれ以前の投影点までの混合処理で得られる色情報とを透明度に応じた比率で内分して得るようにすると、 K_A は、下記数式12のようになる。

【0090】

【数12】

$$K_A = \alpha_2 K_2 + (1 - \alpha_2) \alpha_1' K_1'$$

【0091】

このとき、前記数式12は、前記数式6, 数式7, 数式10, 数式11から下記数式13のようになり、本来の色情報のよい近似となる。

【0092】

【数13】

$$K_A \doteq K_2$$

【0093】

以上で述べたとおり、存在確率情報をそのまま用いた画像生成では、基準視点と仮想視点が同一である場合には問題ないものの、両者が異なる場合に被写体の遮蔽領域付近で輝度の増加が生じることがあるのに対し、存在確率情報を透明度に変換する画像生成では、この現象を防止する効果がある。

【0094】

また、存在確率情報をそのまま用いる画像生成において基準視点と仮想視点異なる場合には、後に示す数式を用いた演算で色情報を計算した場合に有効な色情報の範囲内に収まる保証がなく、例えば、補正処理が必要であるのに対し、透

明度に変換する画像生成では、このような補正は不要である。

【0095】

また、存在確率情報を透明度に変換する画像生成では、半透過の被写体も効率的に表現することができ、現実世界にあるより多くの被写体に対して広く本発明を適用できる効果がある。

【0096】

また、本発明の仮想視点画像生成方法では、ステップ1においてカメラ毎に固有の投影面群を設定し、ステップ3において投影点の色情報は、投影点が属する投影面に固有のカメラによる撮影画像の対応点の色情報を用い、ステップ4における存在確率情報は、投影点が属する投影面に固有のカメラの視点を基準視点として計算され、ステップ5における仮想視点の色情報の混合処理は、仮想視点と各基準視点との位置関係により補正する。このようにすると、カメラ間の位置関係とは無関係にカメラ毎に固有の投影面群を設定するため、カメラの配置が複雑であったり不規則であったりしても、投影面群の設定処理が影響を受けることはなく、一貫した処理方法により画像生成ができる。

【0097】

また、前記カメラ毎に固有の投影面群を設定した場合、投影面の色情報に関しては対応するカメラで撮影した画像間での混合処理が必要ない。そのため、例えば、計算機（コンピュータ）で処理する際に並列処理が可能であり、画像生成の高速化が可能である。

【0098】

また、同じカメラに対応付けされている投影面群の色情報はすべて同じであるため、計算機（コンピュータ）で処理する際に、色情報を格納するテクスチャメモリを共有できる。そのため、投影面の数ほどはメモリを消費することがなく、画像生成に用いる装置の負荷を低減することができる。

【0099】

また、ある投影面に対応するカメラは一意に決定されているため、両者の座標の対応関係をあらかじめ設定しておくことで、レンズの歪曲収差の補正などのキャリブレーションを容易にかつ高速に行うことができる。

【0100】

よって、本発明の仮想視点画像生成方法を専用の装置、普及型のパーソナルコンピュータ等で実行させるプログラムは広い適用範囲と高い汎用性を持つ。

【0101】

以下、本発明の仮想視点画像生成方法を実行する装置及び具体的な画像生成方法を、実施例を挙げて説明する。

【0102】

(実施例1)

図5及び図6は、本発明による実施例1の仮想視点画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、図5は画像生成装置内部の構成を示すブロック図、図6は画像生成装置を用いたシステムの構成例を示す図である。

【0103】

図5において、1は仮想視点画像生成装置、101は仮想視点決定手段、102は被写体画像取得手段、103は画像生成手段、103aは投影面決定手段、103bは基準視点決定手段、103cはテクスチャ配列確保手段、103dは対応点マッチング処理手段、103eは色情報決定手段、103fは存在確率情報決定手段、103gはレンダリング手段、104は生成画像出力手段、2は視点位置入力手段、3は被写体撮影手段、4は画像表示手段である。また、図6において、Userは仮想視点画像生成装置の利用者、Objは被写体である。

【0104】

本実施例1の仮想視点画像生成装置1は、図5及び図6に示すように、利用者Userが視点位置入力手段2を用いて入力した視点（仮想視点）のパラメータを決定する仮想視点決定手段101と、複数の視点位置 C_i にある被写体撮影手段（カメラ）3で撮影された被写体Objの画像を取得する被写体画像取得手段102と、前記取得した被写体Objの画像をもとに、前記仮想視点から前記被写体Objを見たときの画像（仮想視点画像）を生成する画像生成手段103と、前記画像生成手段103で生成した仮想視点画像を画像表示手段4に表示させるための生成画像出力手段104とにより構成される。

【0105】

このとき、仮想視点決定手段101では、前記仮想視点のパラメータとして、例えば、位置、方向、画角を決定する。また、前記視点位置入力手段2は、例えば、図2に示したように、マウス等の利用者Userが操作して選択するデバイスであってもよいし、キーボード等の利用者Userが直接数値として入力するデバイスでもよいし、前記利用者Userが装着する位置・姿勢検出センサでもよい。また、他のプログラムにより与えられるものでも、ネットワークを介して与えられるものでも可能である。

【0106】

また、前記被写体画像取得手段102は、刻々と変化する被写体の位置・姿勢を一定の間隔、例えば30Hzの間隔で逐次的に取得することも、任意の時刻における被写体の静止画像を取得することも可能であるし、あらかじめ撮影した被写体画像を記録装置から読み出すことで取得することも可能である。なお、複数の視点位置からの被写体画像は、すべてのカメラ間の同期をとることにより同一時刻に撮影したものであることが望ましいが、被写体の位置・姿勢の変化が十分に遅く、静止物と見なせる場合にはこの限りではない。

【0107】

また、前記画像生成手段103は、図5に示したように、画像生成に用いる投影面の位置・形状を決定する投影面決定手段103aと、基準視点の位置を決定する基準視点決定手段103bと、投影面に貼り付けるテクスチャ画像の配列をメモリ上に割り当てるテクスチャ配列確保手段103cと、前記被写体画像取得手段102で取得した被写体の画像において、複数の視点位置の間で被写体の同一の領域が撮影されている箇所の対応付けを行う対応点マッチング処理手段103dと、前記テクスチャ配列確保手段103cで確保したテクスチャ配列のうちの色情報を、取得した複数枚の被写体の画像の色情報を混合処理することで決定する色情報決定手段103eと、前記テクスチャ配列確保手段103cで確保したテクスチャ配列のうちの、投影面上に被写体が存在する可能性の度合い（存在確率情報）を、前記対応点マッチング処理手段103dの結果に基づいて決定する存在確率情報決定手段103fと、前記色情報決定手段103eで決定した色情報及び前記存在確率情報決定手段103fで決定した存在確率情報をもとに、

前記仮想視点から見た前記投影面をレンダリングするレンダリング手段 103g により構成される。

【0108】

このとき、前記テクスチャ配列確保手段 103c で確保する配列は、各画素について色情報と存在確率情報を保持し、例えば、赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の 3 原色及び前記存在確率情報に対して各 8 ビットで表現する。ただし、本発明はこのような特定のデータ表現形式に依存するものではない。

【0109】

また、前記画像表示手段 4 は、例えば、ディスプレイ端子等の生成画像出力手段 104 に接続された CRT (Cathode Ray Tube)、LCD (Liquid Crystal Display)、PDP (Plasma Display Panel) 等の表示装置である。このとき、前記画像表示手段 4 は、例えば、2 次元平面状の表示装置でもよいし、利用者 User を取り囲むような曲面状の表示装置であってもよい。また、前記画像表示手段 4 として、立体表示が可能な表示装置を用いれば、前記仮想視点決定手段 101 で、前記利用者 User の左右眼に相当する 2 つの仮想視点を決定し、前記画像生成手段 103 で前記 2 つの仮想視点からの仮想視点画像を生成したのち、利用者の左右眼に独立した画像を提示することも可能である。また、3 つ以上の仮想視点からの画像を生成し、3 つ以上の視差がついた画像を表示することのできる 3 次元ディスプレイを用いれば、1 人以上の利用者に対して立体映像を提示することも可能である。

【0110】

また、前記仮想視点画像生成装置 1 を用いたシステムは、例えば、図 6 に示したような構成になっており、利用者 User は前記視点位置入力手段 2 を介して仮想視点画像生成装置 1 に所望の視点位置・方向・画角を指定すると、前記仮想視点画像生成装置 1 は被写体 Obj を前記被写体撮影手段 (カメラ) 3 で撮影し、その画像を取得した後、前記取得した被写体の画像をもとに指示された視点における画像 (仮想視点画像) を生成する。前記生成された仮想視点画像は、前記画像表示手段 4 により利用者 User に提示する。

【0111】

なお、図6のシステム構成は本発明における画像生成装置の実装の一例を示すものであり、本発明の請求範囲は必ずしもこのような構成に限定されるものではなく、個々の装置の配置、形態、実装は本発明の趣旨を逸脱しない範囲において任意である。

【0112】

以下、前記画像生成手段103による画像生成処理について説明するが、その具体的な処理手順を記述する前に、処理の前提となる数理モデルについて説明する。

【0113】

図7及び図8は、本実施例1の仮想視点画像生成装置を用いた仮想視点画像生成方法の数理モデルを説明するための模式図であり、図7は投影変換の一例を示す図、図8は座標変換の一例を示す図である。

【0114】

本実施例1の仮想視点画像生成装置を用いた画像生成処理では、例えば、図7に示したように、カメラ3の中心位置 C_i ($i=1, 2, \dots, N$) 及び仮想視点 P 、投影面 L_j ($j=1, 2, \dots, M$) が設定されている。以下、複数台のカメラ3を区別するために、前記カメラの中心位置 C_i はカメラ自体も示すものとし、同様に P は仮想視点自体を示すとともに仮想視点の中心の位置を示すものとする。

【0115】

また、図7では、カメラ C_i は横一列に配置しているが、本発明はこのような配置に限定されるものではなく、例えば2次元格子状や円弧状などの多様な配置にも適用可能である。さらに、投影面 L_j の配置も必ずしも平行に限定されるものではなく、後述の実施例3のように曲面とすることも可能である。ただし、本実施例1の説明では投影面 L_j は平面であるとする。

【0116】

本発明の仮想視点画像生成方法では、実際にカメラを配置した位置 C_i で取得した被写体 Obj の画像をもとに前記カメラが配置されていない仮想視点 P の画像を生成するため、基本的には、カメラ C_i で撮影した被写体の画像の一部をコンピュータ等の仮想視点画像生成装置1上に想定した投影面 L_j に貼付（テクスチ

マッピング) し、そのテクスチャマッピングされた投影面を前記仮想視点 P から見たときの画像を座標計算処理により生成するという手順を経る。

【0117】

このような処理を行う際、前記仮想視点 P 及びカメラ C_i は、3次元空間中の点をそれぞれの画像面の2次元の点に射影する。

【0118】

一般的に、3次元空間上の点 (X, Y, Z) から画像面上の点 (x, y) へ射影する行列は3行4列の行列で与えられ、下記数式14及び数式15のように表すことができる。

【0119】

【数14】

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \Phi \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0120】

【数15】

$$\Phi = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \end{bmatrix}$$

【0121】

このとき、例えば、原点を中心とした焦点距離 f の透視投影変換を表す行列 Φ_0 は、下記数式16となる。

【0122】

【数16】

$$\Phi_0 = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

【0123】

また、コンピュータにより扱う画像はいわゆるデジタル画像であり、メモリ上の2次元配列により表現されている。この配列の位置を示す座標系を (u, v) をデジタル画像座標系と呼ぶことにする。

【0124】

このとき、例えば、640画素×480画素の大きさをもつデジタル画像上の1点は、0から639の整数値のいずれかをとる変数 u と、0から479の整数値のいずれかをとる変数 v により示され、その点での色情報はそのアドレスでの赤 (R)、緑 (G)、青 (B) 情報を8ビットなどで量子化したデータで表される。

【0125】

またこのとき、図8(a)に示すような画像座標 (x, y) と、図8(b)に示すようなデジタル画像座標 (u, v) は、1対1で対応付けされ、例えば、下記数式17のような関係を持つ。

【0126】

【数17】

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & k_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0127】

ここで、図8(a)に示した x 軸と図8(b)に示した u 軸は平行であり、 u 軸と v 軸の単位長は (x, y) 座標系を基準に k_u 、 k_v 、 u 軸と v 軸のなす角度を θ とおいた。

【0128】

なお、2次元配列の書き込み及び読み取りをする際、前記デジタル画像座標 (u, v) は離散値をとるが、以下の説明では断りのない限り連続値をとることとし、配列へのアクセスの際に適当な離散化処理を行うものとする。

【0129】

また、この座標変換で前記数式17の関係に加え、レンズの収差による画像の

歪みを補正した変換を行うことも可能である。

【0130】

以下、前記数理モデルを用いて、具体的な仮想視点画像の生成処理手順について説明する。

【0131】

図9乃至図16は、本実施例1の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、図9は生成処理全体のフロー図、図10は仮想視点画像を生成するステップの具体的なフロー図、図11は投影面の設定方法の一例を示す図、図12は投影点、投影点列、投影点列の集合の一例を示す図、図13は色情報の混合処理を説明するための基準視点、投影点、カメラ位置によりなす角度の一例を示す図、図14は対応点マッチング処理の一例を示す図、図15はレンダリング処理を説明するための図、図16は生成された仮想視点画像の一例を示す図である。

【0132】

本実施例1の仮想視点画像生成装置1を用いて仮想視点画像を生成するときには、図9に示すように、まず、利用者Userからの要求に基づき、前記仮想視点決定手段で仮想視点Pのパラメータを決定する（ステップ501）。前記ステップ501では、例えば、仮想視点Pの位置、方向、画角等を決定する。

【0133】

次に、前記複数台のカメラ3（ C_i ）で撮影した被写体Objの画像を、前記被写体画像取得手段102で取得する（ステップ502）。

【0134】

次に、前記被写体画像取得手段102で取得した被写体の画像をもとに、前記仮想視点Pから前記被写体Objを見たときの画像（仮想視点画像）を生成する（ステップ503）。

【0135】

前記ステップ503では、例えば、図10に示すような各ステップの処理を行い、仮想視点画像を生成する。

【0136】

前記ステップ503の処理では、まず、前記投影面決定手段103aにより、仮想視点画像の生成に用いる多層構造の投影面 L_j ($j \in J, J \equiv \{1, 2, \dots, M\}$) の位置、形状を決定する(ステップ503a)。前記ステップ503aで前記投影面 L_j を設定するときには、例えば、図7に示したような、平面形状を持つ投影面を等間隔に平行に設置する。

【0137】

また、前記カメラ C_j が等間隔に配置されているときには、その設置間隔を B 、カメラの焦点距離を F 、画像面の1画素の大きさを δ として、下記数式18で求められる距離の系列 l_d ($d=1, 2, 3, \dots$) に平面(投影面)を配置してもよい。

【0138】

【数18】

$$l_d = \frac{BF}{\delta d} \quad (d = 1, 2, 3, \dots)$$

【0139】

このような場合、カメラ間の対応点マッチングの奥行き分解能と投影面の設置間隔が一致する。すなわち、図11に示すように、カメラ C_n 及び C_{n-1} が間隔 B で設置されており、カメラ C_n の画像面上の点を A 、カメラ C_{n-1} の画像面上で C_n における点 A に相当する点を A_0' 、 A_0' から d 画素目の点を A_d' とすれば、点 A の対応点は $\{A_0' \mid d=1, 2, \dots\}$ からなる系列となり、その際に計算される距離の系列は前記数式18で与えられる。

【0140】

ただし、前記投影面 L_j の設定例はあくまでも一例であり、本発明の画像生成法は基本的に2枚以上の異なる投影面を設定すればよく、このような特定の投影面の設定法に限定されるものではない。

【0141】

前記ステップ503aの処理が済んだら、次に、前記基準視点決定手段103bにより、後の処理で用いる、投影点上に被写体が存在する可能性の度合い(存在確率情報)を計算する際に基準とする点(基準視点) R を決定する(ステップ503b)。前記基準視点 R の位置は仮想視点 P の位置と一致させてもよいし、

仮想視点が複数ある場合にはその重心位置にとってもよい。ただし、本発明は特定の基準視点の取り方に依存した方法を提供するものではない。

【0142】

前記ステップ503bの処理が済んだら、次に、前記投影面上に多数の投影点を設定する(ステップ503c)。このとき、基準視点Rを通る複数の直線上に投影点が乗るように設定し、同一の直線上にある投影点を投影点列としてひとまとめに扱う。ここで、例えば、図12に示すように、基準視点Rを通るある直線に着目し、投影面 L_j 上にある投影点を T_j 、それらを集めた投影点列をSとおけば、 $S = \{T_j | j \in J\}$ と書け、さらに投影点列の集合を Σ とおけば $S \in \Sigma$ となる。

【0143】

前記ステップ503の処理が済んだら、次に、前記テクスチャ配列確保手段103cにより、前記投影面にテクスチャマッピングする画像を保持する配列(テクスチャ配列)を、画像生成装置のメモリ上に確保する(ステップ503d)。このとき、確保する配列は、前記投影点の位置に対応するテクスチャ情報を画素毎に、色情報(R, G, B)及び存在確率情報を例えば8ビットずつ持たせる。

【0144】

また、前記ステップ503dでは、テクスチャ配列の画素の2次元デジタル座標(U_j, V_j)と投影点 T_j の3次元座標(X_j, Y_j, Z_j)の対応関係も設定する。このとき、例えば、すべての(U_j, V_j)の値に対して(X_j, Y_j, Z_j)の値をテーブルとして設定してもよいし、代表的な(U_j, V_j)に対してのみ(X_j, Y_j, Z_j)の値を設定し、その他対応は補完処理(例えば線形補完)により求めてもよい。

【0145】

前記ステップ503dの処理が済んだら、前記ステップ502で取得した被写体の画像をもとに、前記ステップ503dで確保した各投影点に相当する画素の色情報及び存在可能性情報を決定する。その際、投影点列Sを $S \in \Sigma$ の範囲で順に走査し、さらに投影点 T_j を $T_j \in S$ の範囲で順に走査し、2重のループ処理を行う。

【0146】

前記ループ処理は、まず、操作する投影点列 S を開始位置に初期化する（ステップ 503 e）。そして次に、走査する投影点 T_j を投影点列 S 内で開始位置に初期化し、例えば、 $j=1$ とする（ステップ 503 f）。

【0147】

前記ステップ 503 e 及び前記ステップ 503 f の処理が済んだら、次に、投影点 T_j の座標 (X_j^*, Y_j^*, Z_j^*) を求め、 (X_j^*, Y_j^*, Z_j^*) の位置にある点を各カメラで撮影したとき、画像面のそれぞれの位置に対応するかを前記数式 14 から数式 17 までの関係を用いて算出する（ステップ 503 g）。このとき、前記対応点を計算するカメラの集合 $\Xi \equiv \{C_i \mid i \in I\}$ とおく。前記カメラの集合 Ξ は、すべてのカメラであってもよいし、仮想視点 P や基準視点 R 、投影点 T_j の位置に応じて 1 つもしくは複数のカメラを任意に選択してもよい。

【0148】

ここで求めた各カメラの対応点を G_{ij} ($i \in I$) とおき、そのデジタル座標を (u_{ij}^*, v_{ij}^*) ($i \in I$) とおく。

【0149】

前記ステップ 503 g の処理が済んだら、次に、前記色情報決定手段 103 e により、投影点 T_j に対応するテクスチャ配列上の画素 (U_j^*, V_j^*) における色情報を、 (u_{ij}^*, v_{ij}^*) ($i \in I$) における色情報を混合することにより決定する（ステップ 503 h）。前記混合処理は、例えば、各カメラの対応点の色情報の平均値をとる。

【0150】

また、前記混合処理では、例えば、カメラ C_i 、投影点 T_j 、基準視点 R によりなす角 θ_{ij} に応じた重み付けを行うことも可能である。ここで、例えば、図 13 に示すように、カメラの集合を $\Xi = \{C_n, C_{n+1}, C_{n+2}\}$ ($I = \{n, n+1, n+2\}$) とした場合を考える。このとき、投影点 T_j と対応点 G_{ij} における色情報 (R, G, B) を表すベクトルをそれぞれ K_j, K_{ij} とおくと、例えば、下記数式 19 のように K_j を決定すれば、基準視点 R から投影点 T_j を見る角度と近い角度から撮影したカメラほど、混合処理の寄与の程度が大きくなる。

【0151】

【数19】

$$K_j = \frac{\sum_{i \in I} \cos \theta_{ij} \cdot K_{ij}}{\sum_{i \in I} \cos \theta_{ij}}$$

【0152】

前記ステップ503hの処理が済んだら、前記対応点マッチング処理手段103dにより、投影点 T_j に対する各カメラの対応点 G_{ij} ($i \in I$) の相関の程度 Q_j を計算する(ステップ503i)。前記相関の程度 Q_j は、例えば下記数式20のようにすれば、 Q_j が正の値をとり、対応点の相関が高いほど Q_j は小さな値をとる。

【0153】

【数20】

$$Q_j = \sum_{i \in I} (K_j - K_{ij})^2$$

【0154】

また、前記数式20では、投影点と対応点の色情報を1点でのみ比較しているが、投影点と対応点の近傍にある複数の点で色情報の比較を行うこともできる。このとき、例えば、図14に示すように、投影面 T_j の近傍の領域 Φ_j 、 Ψ_{ij} はカメラ C_i における対応領域 Φ_j をとると、これらの領域における相関の程度 Q_j は、例えば、下記数式21により計算される。

【0155】

【数21】

$$Q_j = \sum_{i \in I} \sum_{\substack{(u_j, v_j) \in \Phi_j \\ (u_{ij}, v_{ij}) \in \Psi_{ij}}} \{K(U_j, V_j) - K(u_{ij}, v_{ij})\}^2$$

【0156】

ここで $K(U_j, V_j)$ はテクスチャ配列の座標 (U_j, V_j) における色情報の推定値、 $K(u_{ij}, v_{ij})$ はカメラ C_i における撮影画像の座標 (u_j, v_j) における色情報を示す。

【0157】

なお、相関の程度を計算する方法は上記の限りではなく、本発明は特定の計算方法に依存するものではない。例えば、図14に示した例では、投影点 T_j 及び対応点に相当する画素とその周りの8画素からなる領域を、それぞれ近傍の領域 Φ_j 、及びその対応領域 Ψ_{ij} としている。しかし、近傍の領域 Φ_j 、及びその対応領域 Ψ_{ij} の定め方は、この例に限定されるものではない。

【0158】

前記ステップ503iの処理が済んだら、次に、前記投影点 T_j を更新し（ステップ503j）、投影点 $T_j \in S$ をすべて走査したかを判別する（ステップ503k）。ここでもし、すべてを走査し終えたのなら、次のステップ503lに進み、まだ走査し終えていないのであれば前記ステップ503gに戻る。

【0159】

前記ステップ503kで、すべて走査し終えたと判別されたら、次に、前記存在確率情報決定手段103fにより、前記ステップ503iで計算した相関の程度 Q_j をもとにして、基準視点Rを通る直線上にあるすべての投影点 T_j ($j \in J$) について、投影点上に被写体が存在する可能性の度合い（存在確率情報） β_j を決定する（ステップ503l）。ただし、前記存在確率情報 β_j は、下記数式2及び数式23の条件を満たす必要がある。

【0160】

【数22】

$$0 \leq \beta_j \leq 1$$

【0161】

【数23】

$$\sum_{j=1}^M \beta_j = 1$$

【0162】

さらに、投影点 T_j に被写体が存在する確率が高いほど1に近い値をとるため、前記ステップ503iで計算した投影点と対応点の相関の程度 Q_j に対し、例えば、下記数式24及び数式25で表される変換処理を施して前記存在確率情報

β_j ($j \in J$) を得る。

【0163】

【数24】

$$\tilde{\beta}_j = \frac{1}{Q_j}$$

【0164】

【数25】

$$\beta_j = \frac{\beta_j}{\sum_{j=1}^M \tilde{\beta}_j}$$

【0165】

ただし、前記存在確率情報 β_j は、前記数式 22 及び数式 23 の条件を満たせばよい。変換処理は必ずしも前記数式 24 及び数式 25 で表される方法に限定されるものではない。

【0166】

前記ステップ 5031 の処理が済んだら、次に、投影点列 S を更新し（ステップ 503m）、投影点列 $S \in \Sigma$ をすべて走査したかを判別する（ステップ 503n）。ここでもし、すべてを走査し終えたのなら次のステップ 503o に進み、まだ走査し終えていないのであればステップ 503f に戻る。

【0167】

前記ステップ 503n で、すべて走査し終えたと判別されたら、次に、前記レンダリング手段 103g により、多層構造を持つ投影面 L_j ($j=1, 2, \dots, M$) を仮想視点 P から見た画像を、前記存在確率情報 β_j に応じて描画して生成する（ステップ 503o）。ここで、例えば、図 15 に示すように、仮想視点 P における画像面の座標が (u_p, v_p) で表されているとする。このとき、画像面上のある画素 p^* (u_{p^*}, v_{p^*}) の色情報 K_{p^*} は、 P と p^* を結ぶ直線上にある投影点列 $\{T_j^* | j \in J\}$ の色情報 $\{K_j^* | j \in J\}$ に対応する存在確率情報 $\{\beta_j^* | j \in J\}$ を掛けて加算したものとして決定され、下記数式 26 のように表される。

【0168】

【数 2 6】

$$K_p^* = \sum_{j=1}^M \beta_j^* K_j^*$$

【0 1 6 9】

そして、画像面上にあるすべての画素について色情報を決定すれば、仮想視点 P における画像を得ることができる。

【0 1 7 0】

また、前記数式 2 6 の代わりに、下記数式 2 7 として K_p^* を計算すると、基準視点 R と仮想視点 P の位置が異なる場合でも、 K_p^* は必ず有効な色空間の範囲内に収めることが保証される。

【0 1 7 1】

【数 2 7】

$$K_p^* = \frac{\sum_{j=1}^M \beta_j^* K_j^*}{\sum_{j=1}^M \beta_j^*}$$

【0 1 7 2】

なお、ここでは画像面の画素を走査して色情報を決定する手順を示したが、これに限らず、例えば、OpenGL や DirectX 等の汎用的なグラフィックスライブラリに投影面の構成、テクスチャ配列、視点 P の設定などのデータを受け渡し、描画処理を任せてもよい。

【0 1 7 3】

以上で前記仮想視点画像の生成処理（ステップ 5 0 3）が終了し、生成された仮想視点画像は、前記画像表示手段 4 に表示される（ステップ 5 0 4）。このとき、前記画像表示手段 4 に表示される仮想視点画像 6 は、例えば、図 1 6 に示すように、被写体の像 7 のうち、前記ステップ 5 0 3 1 で計算した前記相関の程度 Q_j が低い、すなわち推定値の信頼性が低い箇所 7 A は、曖昧に描画され、ぼやけたようになっている。そのため、例えば、図 2 0 に示したような、従来の仮想視点画像 6 のように、画像が欠損しているようには見えず、利用者の目には気に

ならない程度の劣化となる。

【0174】

その後、前記ステップ505で、処理の継続あるいは終了を判断し、継続するのであれば最初のステップ501から繰り返し、終了であれば終了処理を行う。

【0175】

以上説明したように、本実施例1の仮想視点画像生成装置を用いた仮想視点画像生成方法によれば、従来の手段のようにあらゆる場合及びあらゆる箇所で被写体の正確な幾何モデルを得ようとするのではなく、被写体の撮影条件や部位によっては距離推定で十分な信頼性を持つ推定値が得られないことを前提として、信頼性が低い推定値が得られた箇所については曖昧に描画して画像生成への寄与を低くし、極端な画像の劣化を防止するとともに、信頼性が高い距離データが得られた箇所については明瞭に描画して画像生成への寄与を高くする。そのため、推定の信頼性が低い箇所の画像の劣化を目立たなくすることができ、利用者の見た目には劣化の少ない仮想視点画像とすることができる。

【0176】

また、本実施例1の仮想視点画像生成装置1では、テクスチャマッピングを利用して仮想視点画像を生成するので、画像生成処理における装置の負荷を小さくすることができ、かつ、高速に仮想視点画像を生成することができる。

【0177】

また、前記仮想視点画像生成装置1は、専用の装置（計算機）である必要はなく、例えば、コンピュータとプログラムによっても実現することができる。その場合、図10に示したような各ステップをコンピュータに実行させることが可能なプログラムを作成し、前記コンピュータに実行させれば、普及型のパーソナルコンピュータでも、画像の劣化が少ない仮想視点画像を容易に、かつ高速に生成することができる。またこのとき、前記プログラムは、フロッピーディスクやCD-ROM等の記録媒体に記録して提供することもできるし、ネットワークを通して提供することも可能である。

【0178】

なお、本実施例1で説明した仮想視点画像生成装置の構成、及び仮想視点画像

の生成方法や処理手順は一例であり、本発明の本旨とするところは、多層から構成される投影面の透明度情報を、複数の異なる視点位置から被写体を撮影した画像間の対応領域の信頼性に応じて決定することである。そのため、この主旨を大きく逸脱しない範囲において特定の処理方法や実装に依存するものではない。

【0179】

また、色情報の表現として赤（R）、緑（G）、青（B）の3原色を用いる例を記述したが、輝度（Y）、色差（U、V）を用いた表現をとることも可能であり、また白黒画像の場合には色情報として輝度情報のみを用いることが可能である。

【0180】

また、前記仮想視点画像生成装置1を利用したシステムも、図6に示したような、一方向のシステムに限らず、双方向のシステムでも適用できる。

【0181】

図17は、前記実施例1の仮想視点画像生成装置1を適用したシステムの応用例を示す模式図である。

【0182】

前記実施例1の仮想視点画像生成装置1は、例えば、テレビ電話やテレビ会議等のシステムに適しており、例えば、図17に示すように、通信ネットワークを介して遠隔地に存在する利用者User A及びUser Bにおいて、両者が利用者であるとともに被写体であるとし、お互いの画像を提示し合い、視覚的なコミュニケーションを支援するシステムに適用することができる。このとき、User Aが所望する視点からのUser Bの画像を $\text{Img} [A \rightarrow B]$ 、 $\text{Img} [A \rightarrow B]$ はUser B側の被写体撮影手段（カメラ）3 Bにより撮影されたUser Bの画像をもとに生成されてUser A側の画像表示手段4 Aに提示される。また、User Bが所望する視点からのUser Aの画像を $\text{Img} [B \rightarrow A]$ とおけば、 $\text{Img} [B \rightarrow A]$ はUser A側の被写体撮影手段（カメラ）3 Aにより撮影されたUser Aの画像をもとに生成されてUser B側の画像表示手段4 Bに提示される。

【0183】

また、図17に示したシステムでは、各Userの視点位置入力手段が、利用者の

頭部に装着された位置／姿勢センサのデータ送信部 201A, 201B とデータ受信部 202A, 202B により構成され、利用者の頭部移動に自動的に追従して所望の仮想視点を算出するような例を示している。しかしながら、前記視点位置入力手段は、必ずしもこのような形態をとる必要はない。また、被写体撮影手段 3A, 3B により撮影された利用者の画像をもとに頭部の位置／姿勢を推定し、同様の機能を持たせることも可能である。

【0184】

ここで、 $\text{Img}[A \rightarrow B]$ は UserA 側の仮想視点画像生成装置 1A と UserB 側の仮想視点画像生成装置 1B のどちらで生成するようなシステム構成も可能である。前者の場合には、カメラ 3B で撮影された UserB の画像がネットワーク 8 を介して UserA 側の仮想視点画像生成装置 1A に伝送され、それをもとに前記仮想視点画像生成装置 1A で $\text{Img}[A \rightarrow B]$ が生成されて画像表示手段 4A で提示される。また、後者の場合には UserB 側のカメラ 3B で撮影された UserB の画像をもとに UserB 側の仮想視点画像生成装置 1B で $\text{Img}[A \rightarrow B]$ が生成されたのち、仮想視点画像 $\text{Img}[A \rightarrow B]$ が UserA 側の仮想視点画像生成装置 1A に伝送されて画像表示手段 4A で提示される。また、説明は省略するが、 $\text{Img}[B \rightarrow A]$ についても同様である。

【0185】

また、図 5 における画像生成手段 103 を構成する各手段は、UserA 側の仮想視点画像生成装置 1A 及び UserB 側の仮想視点画像生成装置 1B のどちらで分担することも可能であり、例えば、 $\text{Img}[A \rightarrow B]$ を生成するために UserA 側にある画像生成装置 1A で投影面決定手段 103a 及び基準視点決定手段 103b、ならびに対応点マッチング手段 103d を実装し、UserB 側にある画像生成処理装置 1B でテクスチャ配列確保手段 103c 及び色情報決定手段 103e 及び存在確率情報決定手段 103f 及びレンダリング手段 103g を実装することができる。また、説明は省略するが、 $\text{Img}[B \rightarrow A]$ についても同様である。

【0186】

さらには、ネットワーク 8 上の任意の場所に、UserA 側及び UserB 側の前記仮想視点画像生成装置 1A, 1B とは別の画像生成装置 1C を設け、画像生成手段

のすべて若しくは一部を実装することも可能である。

【0187】

なお、ここではUser AとUser Bの2人の利用者間での通信について述べたが、利用者の人数は、この限りではなく、さらに多数の利用者間でも同様に本発明を適用することができる。その際、利用者が実際に存在する実空間とは別にコミュニケーションに用いる仮想空間を想定し、その位置関係に応じた他の利用者の画像をお互いに提示し合えば、あたかもネットワーク上の仮想空間（サイバースペース）を共有するかのような感覚を利用者に提示することができる。

【0188】

（実施例2）

図18は、本発明による実施例2の仮想視点画像生成方法を説明するための模式図であり、図18（a）は本実施例2の特徴となる処理を示すフロー図、図18（b）は透明度情報を決定するステップの具体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

【0189】

本実施例2では、前記実施例1で説明した仮想視点画像の生成処理において、前記ステップ5031で計算した投影点の存在確率情報の代わりに、前記存在確率情報を透明度情報に変換して画像生成を行う例を示す。

【0190】

このとき、前記仮想視点画像生成装置1の構成や、全体的な処理手順については、前記実施例1で説明した例と同様な形態をとることができるため、以下、差異のある部分のみを説明する。

【0191】

前記実施例1では、前記画像を生成するステップ503において、図10に示したように、前記ステップ5031で決定した前記存在確率情報 β_j を用いて、仮想視点画像を生成していたが、本実施例2では、図18（a）に示すように、前記ステップ5031の後、前記存在確率情報を変換して透明度を決定するステップ503pを付加する。

【0192】

そのため、前記実施例 1 のテクスチャ配列を確保するステップ 503d では、色情報及び前記存在確率情報を保持する配列を確保したのに対し、本実施例 2 のステップ 503d では、色情報及び前記透明度情報を保持する配列を確保する。

【0193】

前記透明度情報 α_j は、前記存在確率情報 β_j をもとに計算され、前記実施例 1 のステップ 5031 と同様、本実施例 2 でも、前記ステップ 5031 で前記存在確率情報をいったん計算し、次のステップ 503p で透明度情報を計算する。

【0194】

また、本実施例 2 のレンダリング処理を行うステップ 503o では、前記実施例 1 で説明した前記数式 26 や数式 27 の代わりに、前記数式 2 から前記数式 4 までに従って D_j を逐次的に計算する。そのため、画像面上のある画素 p^* (u_{p^*} , v_{p^*}) の色情報 K_{j^*} は、下記数式 28 のように計算することになる。

【0195】

【数 28】

$$\begin{aligned} K_p^* &= D_M \\ &= \alpha_M K_M + (1 - \alpha_M) \alpha_{M-1} K_{M-1} + \cdots \\ &\quad + (1 - \alpha_M)(1 - \alpha_{M-1}) \cdots (1 - \alpha_2) \alpha_1 K_1 \end{aligned}$$

【0196】

以上が本実施例における画像生成方法であるが、前記存在確率情報 β_j をもとに透明度情報 α_j を計算する方法の一例を、以下で示す。

【0197】

まず、前記数式 26 と前記数式 28 を比較すると、下記数式 29 のようになる。

【0198】

【数 29】

$$\begin{cases} \beta_M = \alpha_M \\ \beta_j = \left\{ \prod_{m=j+1}^M (1 - \alpha_m) \right\} \alpha_j \quad (j \in J) \end{cases}$$

【0199】

この関係から、 $j=M, M-1, \dots, 1$ の順に α_j を求めていく手順は以下のようになる。

【0200】

まず、図18 (b) に示すように、 j の初期値として $j=M$ とする (ステップ5031p)。次に、前記数式29から、 $\alpha_M = \beta_M$ と決定する (ステップ5032p)。次に、 j の値を $j=j-1$ と更新する (ステップ5033p)。

【0201】

次に、 α_{j+1} が1か否かを判別する (ステップ5034p)。このとき、 $\alpha_{j+1} \neq 1$ であれば、前記数式29の関係から、下記数式30により α_j を決定する (ステップ5035p)。

【0202】

【数30】

$$\alpha_j = \frac{1}{\prod_{m=j+1}^M (1 - \alpha_m)} \beta_j$$

【0203】

一方、 $\alpha_{j+1} = 1$ のときは、下記数式31により α_j を決定する (ステップ5036p)。

【0204】

【数31】

$$\alpha_j = 1$$

【0205】

この根拠を説明すると、まず、 $\alpha_{j+1} = 1$ ならば、下記数式32のようになり、前記数式30では分母が0 (零) となるため計算できない。

【0206】

【数32】

$$\prod_{m=j+1}^M (1 - \alpha_m) = 0$$

【0207】

そこで前記数式 32 を展開すると、下記数式 33 となり、前記数式 29 を代入すると、数式 34 のようになる。

【0208】

【数 33】

$$\alpha_M + (1 - \alpha_M)\alpha_{M-1} + \cdots \\ + (1 - \alpha_M)(1 - \alpha_{M-1}) \cdots (1 - \alpha_{j+2})\alpha_{j+1} = 1$$

【0209】

【数 34】

$$\beta_M + \beta_{M-1} + \cdots + \beta_{j+1} = 1$$

【0210】

前記数式 34 と前記数式 22 及び数式 23 から、下記数式 35 が得られる。

【0211】

【数 35】

$$\beta_j = 0$$

【0212】

ここで、前記数式 32 と前記数式 35 を、前記数式 29 の下辺に代入すれば $0 = 0 \times \alpha_j$ となり、 α_j は任意の値をとりうることがわかる。そこで、本実施例 2 では、例えば、 $\alpha_j = 1$ と設定する。

【0213】

ただし、上記の通り α_j は任意の値に設定することができ、本発明は特定の α_j の決定法に依存するものではない。

【0214】

次に、 $j=1$ まで処理したかを判別し（ステップ 5037 p）、すべての処理が済んだならば終了、まだ済んでいないのであれば前記ステップ 5033 p に戻る。

【0215】

以上説明したように、本実施例 2 の仮想視点画像生成方法によれば、前記実施例 1 と同様に、部分的な画像の劣化が目立たない仮想視点画像を容易に、かつ高

速に生成することができる。

【0216】

また、前記実施例1で説明したように、存在確率情報をそのまま用いた画像生成では、基準視点と仮想視点が異なる場合に被写体の遮蔽領域付近で輝度の増加が生じることがあるのに対し、本実施例2のように、存在確率情報を透明度に変換する画像生成では、この現象を防止する効果がある。そのため、画像の劣化が少なく、より実際の被写体に近い仮想視点画像を得ることができる。

【0217】

また、前記実施例1で説明したように、存在確率情報をそのまま用いる画像生成では、基準視点と仮想視点が異なる場合には、後に示す数式を用いた演算で色情報を計算した場合に有効な色情報の範囲内に収まる保証がなく、例えば、補正処理が必要であるのに対し、本実施例2のように、前記存在確率情報を透明度に変換する画像生成では、このような補正は不要である。そのため、画像生成処理が簡略化できる。

【0218】

また、本実施例2の仮想視点画像生成方法のように、存在確率情報を透明度に変換する画像生成では、半透過の被写体も効率的に表現することができ、現実世界にあるより多くの被写体に対して広く本発明を適用できる効果がある。

【0219】

なお、本実施例2で説明した仮想視点画像生成方法は一例であり、本実施例の本旨とするところは、前記存在確率情報を透明度情報に変換して仮想視点画像を生成することである。そのため、この主旨を大きく逸脱しない範囲において特定の計算方法や処理手順に依存するものではない。

【0220】

また、上記の色情報とは、白黒画像の場合には輝度情報に相当し、同様に処理することが可能である。

【0221】

(実施例3)

図19は、本発明による実施例3の仮想視点画像生成方法を説明するための模

式図であり、投影面群、基準視点、仮想視点、投影点の一例を示す図である。

【0222】

本実施例3では、複数のカメラで共通の投影面 L_j を用いるのではなく、カメラ C_j 毎に固有の投影面を設定して画像生成する方法について説明する。なお、仮想視点画像生成装置1の構成や、全体的な画像生成の処理手順は前記実施例1で説明した手順と同様であるので、詳細な説明は省略する。

【0223】

まず、前記実施例1で説明したように、前記ステップ501で仮想視点を決定し、次の前記ステップ502で被写体の画像を取得する。

【0224】

本実施例3の画像生成方法では、次に行われる前記仮想視点画像を生成するステップ503の、投影面を決定するステップ503において、前記カメラ毎に固有の投影面群を設定する。

このとき、前記投影面群は、例えば、図19に示すように、カメラ C_i ($i \in I$, $I = \{n-1, n, n+1, n+2\}$) の画像面 Img_i ($i \in I$) に平行に、それぞれ固有の投影面群 $\Delta_i \equiv \{L_{ij} \mid j \in J\}$ を設定する。

【0225】

前記投影面群の設定が済んだら、次に、前記ステップ503bの基準視点を決定する処理において、前記投影面群 Δ_i に固有の基準視点 R_i を、カメラの視点 C_i と同じ位置に設定する。

【0226】

前記ステップ503bが済んだら、次に、前記実施例1で説明したような手順で前記ステップ503cの処理を行う。そしてその次のステップ503dでは、カメラで撮影したデジタル画像の各画素を投影面上に逆投影し、投影面のテクスチャ配列の各画素と対応づける。

【0227】

ここで、デジタル画像の点 (u, v) と画像面上の点 (x, y) への変換は、例えば、前記数式17で表され、 (x, y) から3次元空間中の投影面上の点 (X, Y, Z) への逆投影は例えば以下のように数式化できる。

【0228】

一般に、2次元の点 (x, y) が与えられたとき、前記数式 14 及び前記数式 15 を満たすような点 (X, Y, Z) は 3次元中に無数にあるが、そのうち投影面上にある点 (X, Y, Z) が逆投影像である。

【0229】

投影面の式は一般的に $aX + bY + cZ + d = 0$ と表現され、これをベクトル表現で書き直すと、下記数式 36 のようになる。

【0230】

【数 36】

$$\begin{bmatrix} a & b & c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

【0231】

ここで前記数式 14 及び前記数式 15、ならびに前記数式 36 をまとめると、下記数式 37 が得られる。

【0232】

【数 37】

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \\ a & b & c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0233】

そこで、前記数式 37 を (X, Y, Z) について解くと (x, y) から (X, Y, Z) への逆投影像を求めることができる。ここで、例えば、前記数式 37 の 4 行 4 列の行列が逆行列を持つならば、 $s' = 1/s$ とおけば、前記逆投影像は下記数式 38 で求められる。

【0234】

【数 3 8】

$$s' \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} & \phi_{34} \\ a & b & c & d \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

【0 2 3 5】

なお、上記の例はあくまでも一例であり、レンズの収差（例えば歪曲収差）を補正するようなキャリブレーションを行うことも可能であるし、デジタル画像の点（ u , v ）に対応する投影面上の点（ X , Y , Z ）をテーブルとして持つことも可能である。

【0 2 3 6】

その後、前記実施例 1 で説明した手順で前記ステップ 5 0 3 e から前記ステップ 5 0 3 g 間での処理を行う。そしてその次のステップ 5 0 3 h の色情報を決定する処理では、前記投影面群 Λ_i 上の投影点は、カメラ C_i で撮影した画像の色情報のみを用いて決定する。

【0 2 3 7】

本実施例 3 で説明した前記ステップ 5 0 3 d と前記ステップ 5 0 3 h のようにすることで、カメラで撮影したデジタル画像をそのまま投影面のテクスチャ配列の色情報として用いることができる。

【0 2 3 8】

その後再び、前記ステップ 5 0 3 i から前記ステップ 5 0 3 n までは、前記実施例 1 と同じ手順で処理を行う。そしてその次に、前記ステップ 5 0 3 o のレンダリング手段においては、仮想視点 P から見て重なり合うすべての投影点について色情報の混合処理を行う。このとき、例えば、図 19 に示した例では、投影面群 Λ_n 及び Λ_{n+1} 上の投影点について、仮想視点 P を通る直線上で色情報の混合処理を行っている。

【0 2 3 9】

ここで、投影面 L_{ij} 上にある投影点を T_{ij} 、 T_{ij} での色情報を K_{ij} 、存在可能性情報を β_{ij} として、前記実施例 1 で前記数式 27 として表された仮想視点 P の

画像面の色情報は例えば以下のように決定される。

【0240】

すなわち、画像面上のある画素 p^* (u_{p^*} , v_{p^*}) の色情報 K_{p^*} は、 P と p^* を結ぶ直線上にある投影点列 $\{T_{ij}^* | i \in I, j \in J\}$ の色情報 $\{K_{ij}^* | i \in I, j \in J\}$ に対応する存在可能性情報 $\{\beta_{ij}^* | i \in I, j \in J\}$ を係数とした重み付き平均値として決定され、下記数式 39 となる。

【0241】

【数 39】

$$K_p^* = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{j=1}^M \beta_{ij} K_j^*}{\sum_{j=1}^M \beta_{ij}}$$

【0242】

以上説明したように、本実施例 3 の仮想視点画像生成方法によれば、前記実施例 1 と同様に、部分的な画像の劣化が目立たない仮想視点画像を容易に、かつ高速に生成することができる。

【0243】

また、本実施例 3 のように、カメラ間の位置関係とは無関係にカメラ毎に固有の投影面群を設定すれば、カメラの配置が複雑であったり不規則であったりしても、投影面群の設定処理が影響を受けることはなく、一貫した処理方法により画像生成ができる。

【0244】

なお、本実施例 3 で説明した仮想視点画像生成方法は一例であり、本実施例の本旨とするところは、前記存在確率情報を透明度情報に変換して仮想視点画像を生成することである。そのため、この主旨を大きく逸脱しない範囲において特定の計算方法や処理手順に依存するものではない。

【0245】

また、上記の色情報とは、白黒画像の場合には輝度情報に相当し、同様に処理することが可能である。

【0246】

以上、本発明を、前記実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において、種々変更可能であることはもちろんである。

【0247】

【発明の効果】

本願において開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、以下の通りである。

【0248】

(1) 複数枚の被写体の画像をもとに仮想視点画像を生成する際に、被写体の位置推定の信頼性が低い部分で生じる画像の劣化を低減することができる。

【0249】

(2) 複数枚の被写体の画像をもとに仮想視点画像を生成する装置の処理時間を短縮する、あるいは装置にかかる負荷を軽減することができる。

【0250】

(3) 複数枚の被写体の画像をもとに仮想視点画像を生成する際に、普及型のパーソナルコンピュータでも部分的な画像の劣化が少なく、かつ、短時間で生成させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明における仮想視点画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、投影面群、カメラ、基準視点、投影点、対応点の一例を示す図である。

【図2】

本発明における仮想視点画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、図2(a)及び図2(b)は対応点間の相関度のグラフの一例を示す図である。

【図3】

本発明における仮想視点画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、図3(a)は投影点の透明度に応じた混合処理の一例を示す図、図3(b)は透明度に応じた色情報の混合処理を色空間において表現した図である。

【図 4】

本発明における仮想視点画像生成方法の原理を説明するための模式図であり、被写体、投影面群、基準視点、仮想視点、投影点の一例を示す図である。

【図 5】

本発明による実施例 1 の仮想視点画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、画像生成装置内部の構成を示すブロック図である。

【図 6】

本発明による実施例 1 の仮想視点画像生成装置の概略構成を示す模式図であり、画像生成装置を用いたシステムの構成例を示す図である。

【図 7】

本実施例 1 の仮想視点画像生成装置を用いた仮想視点画像生成方法の数理モデルを説明するための模式図であり、投影変換の一例を示す図である。

【図 8】

本実施例 1 の仮想視点画像生成装置を用いた仮想視点画像生成方法の数理モデルを説明するための模式図であり、座標変換の一例を示す図である。

【図 9】

本実施例 1 の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、生成処理全体のフロー図である。

【図 10】

本実施例 1 の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、仮想視点画像を生成するステップの具体的なフロー図である。

【図 11】

本実施例 1 の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、投影面の設定方法の一例を示す図である。

【図 12】

本実施例 1 の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、投影点、投影点列、投影点列の集合の一例を示す図である。

【図 13】

本実施例 1 の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、色

情報の混合処理を説明するための基準視点、投影点、カメラ位置によりなす角度の一例を示す図である。

【図 14】

本実施例 1 の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、対応点マッチング処理の一例を示す図である。

【図 15】

本実施例 1 の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、レンダリング処理を説明するための図である。

【図 16】

本実施例 1 の仮想視点画像の生成処理手順を説明するための模式図であり、生成された仮想視点画像の一例を示す図である。

【図 17】

前記実施例 1 の仮想視点画像生成装置を適用したシステムの応用例を示す模式図である。

【図 18】

本発明による実施例 2 の仮想視点画像生成方法を説明するための模式図であり、図 18 (a) は本実施例 2 の特徴となる処理を示すフロー図、図 18 (b) は透明度情報を決定するステップの具体的な処理手順の一例を示すフロー図である。

【図 19】

本発明による実施例 3 の仮想視点画像生成方法を説明するための模式図であり、投影面群、基準視点、仮想視点、投影点の一例を示す図である。

【図 20】

従来の仮想視点画像の問題点を説明するための図である。

【符号の説明】

1, 1A, 1B, 1C…仮想視点画像生成装置、101…仮想視点決定手段、102…被写体画像取得手段、103…画像生成手段、103a…投影面決定手段、103b…基準視点決定手段、103c…テクスチャ配列確保手段、103d…対応点マッチング処理手段、103e…色情報決定手段、103f…存在確

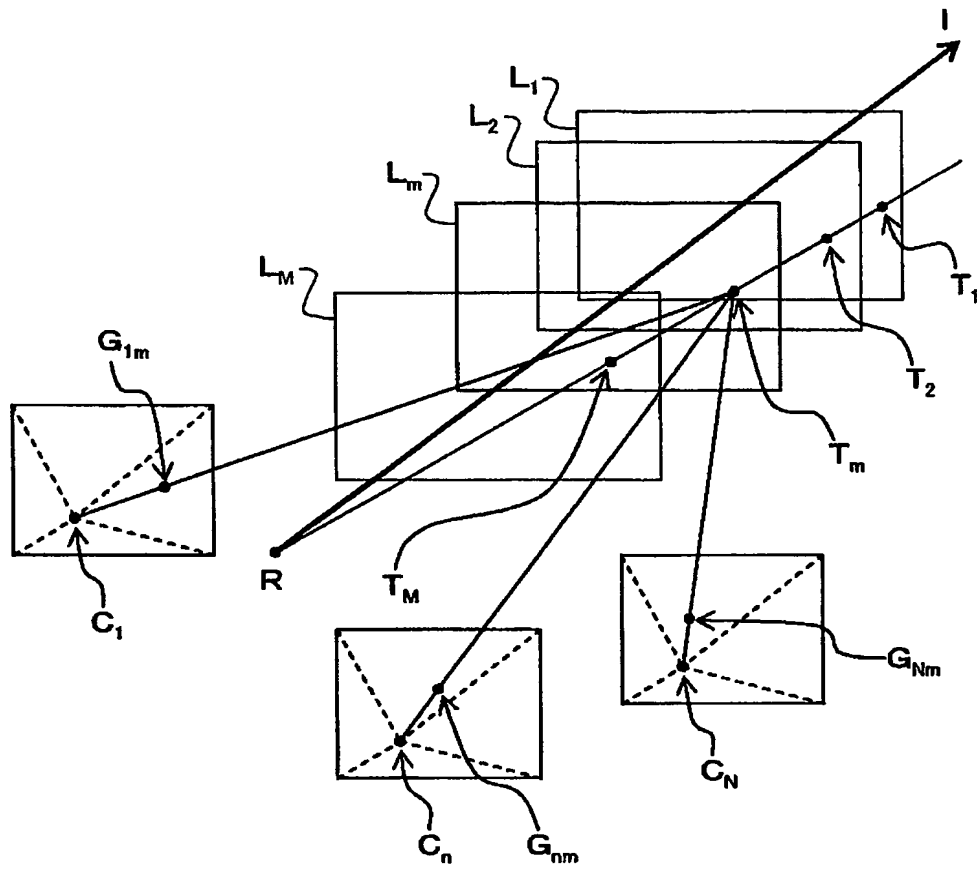
率情報決定手段、103g…レンダリング手段、104…生成画像出力手段、2…視点位置入力手段、3…被写体撮影手段（カメラ）、4…画像表示手段、6…仮想視点画像、7…被写体の像、7A…画像が劣化している部分、7B…画像が欠損している部分。

【書類名】

図面

【図 1】

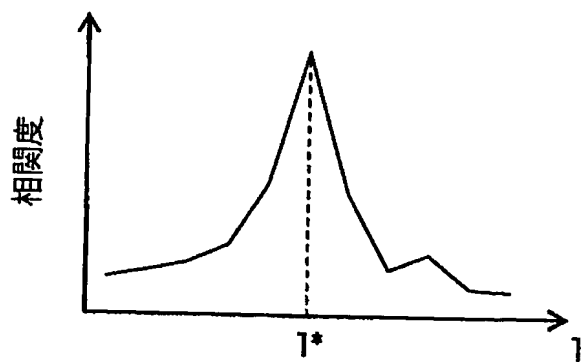
図 1



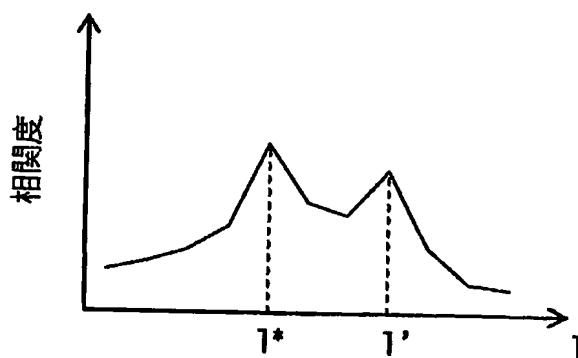
【図 2】

図 2

(a)



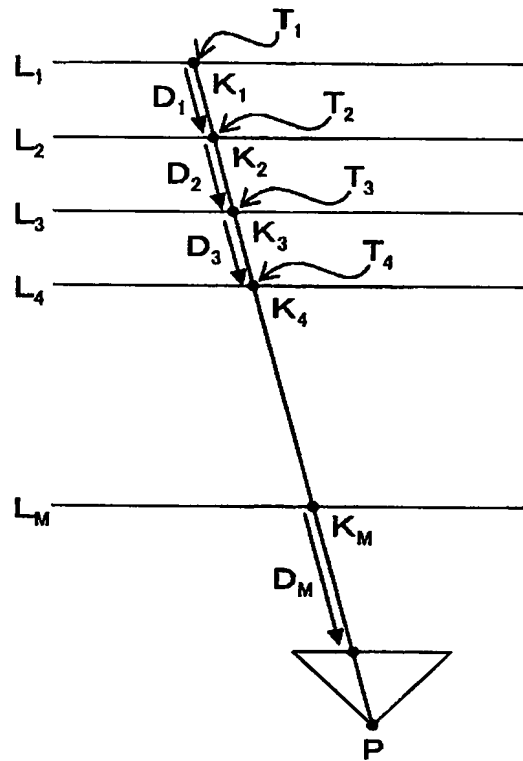
(b)



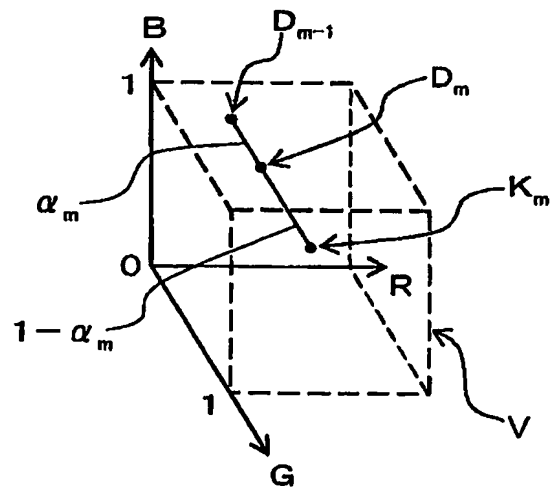
【図 3】

図 3

(a)

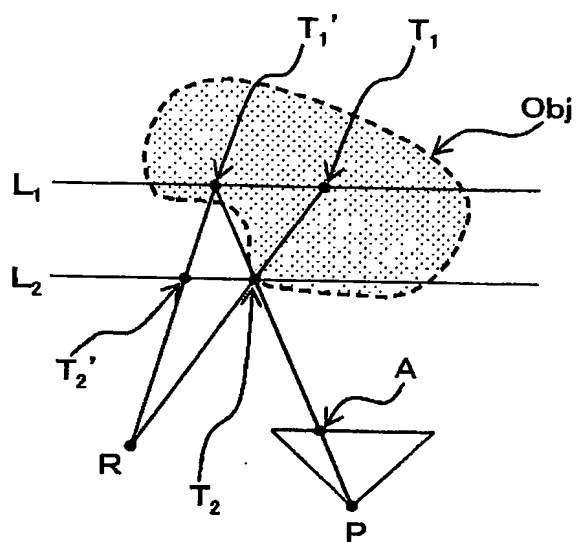


(b)

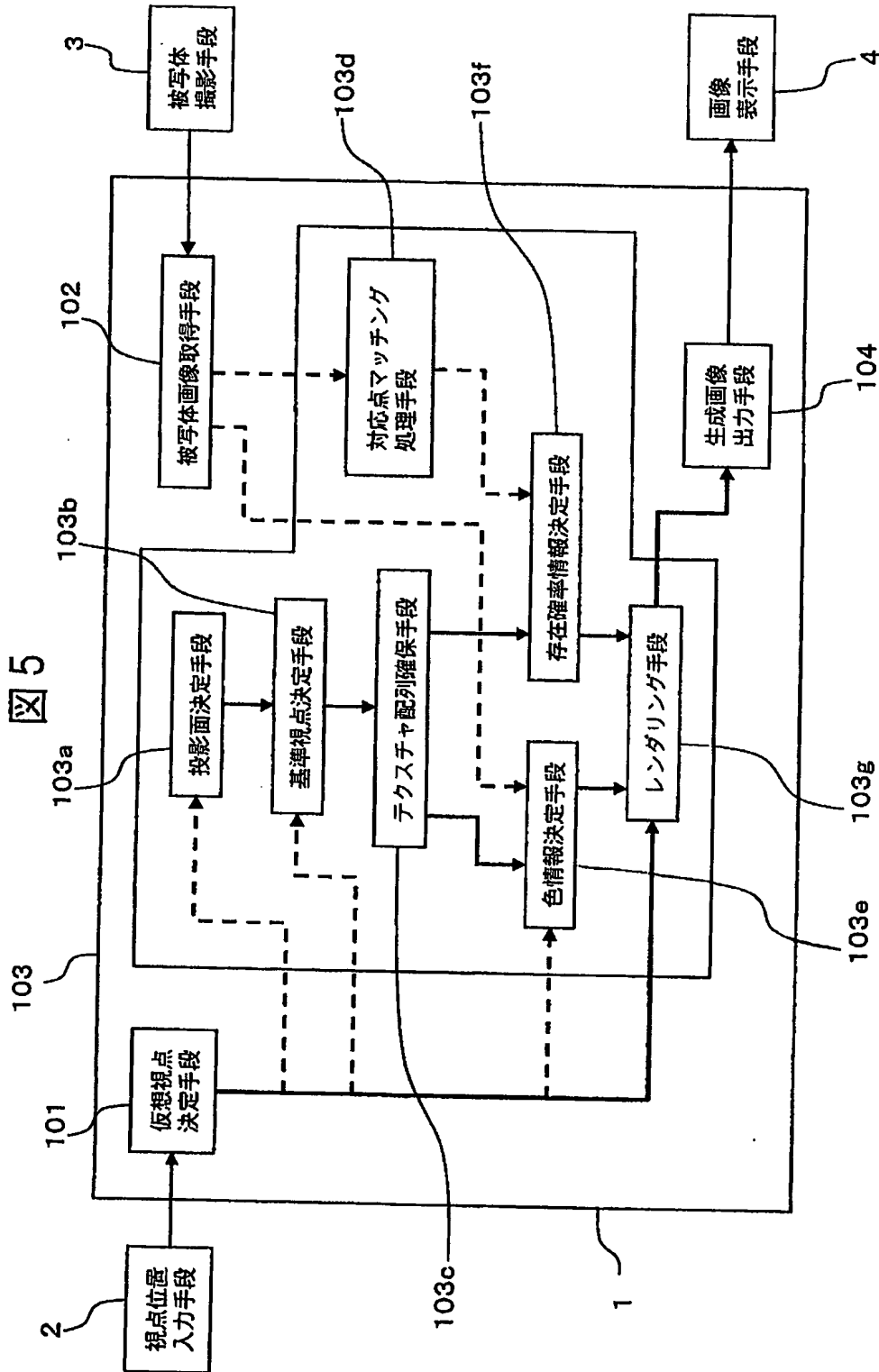


【図 4】

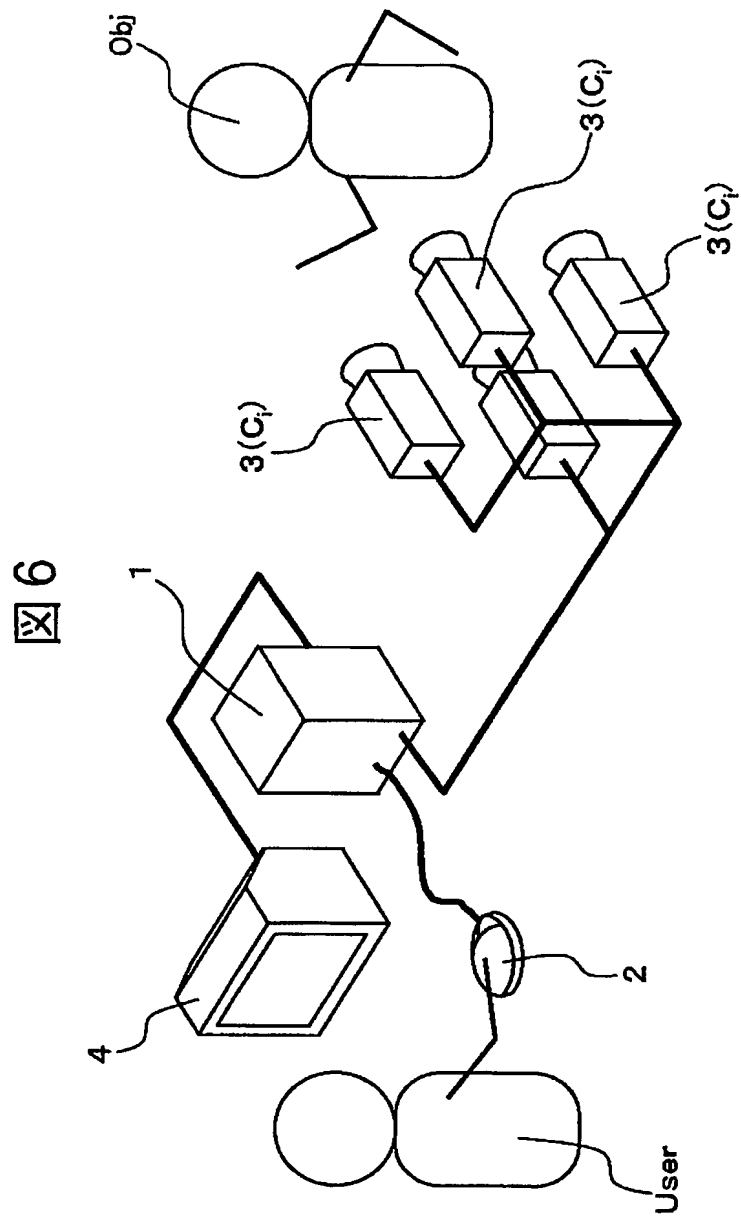
図 4



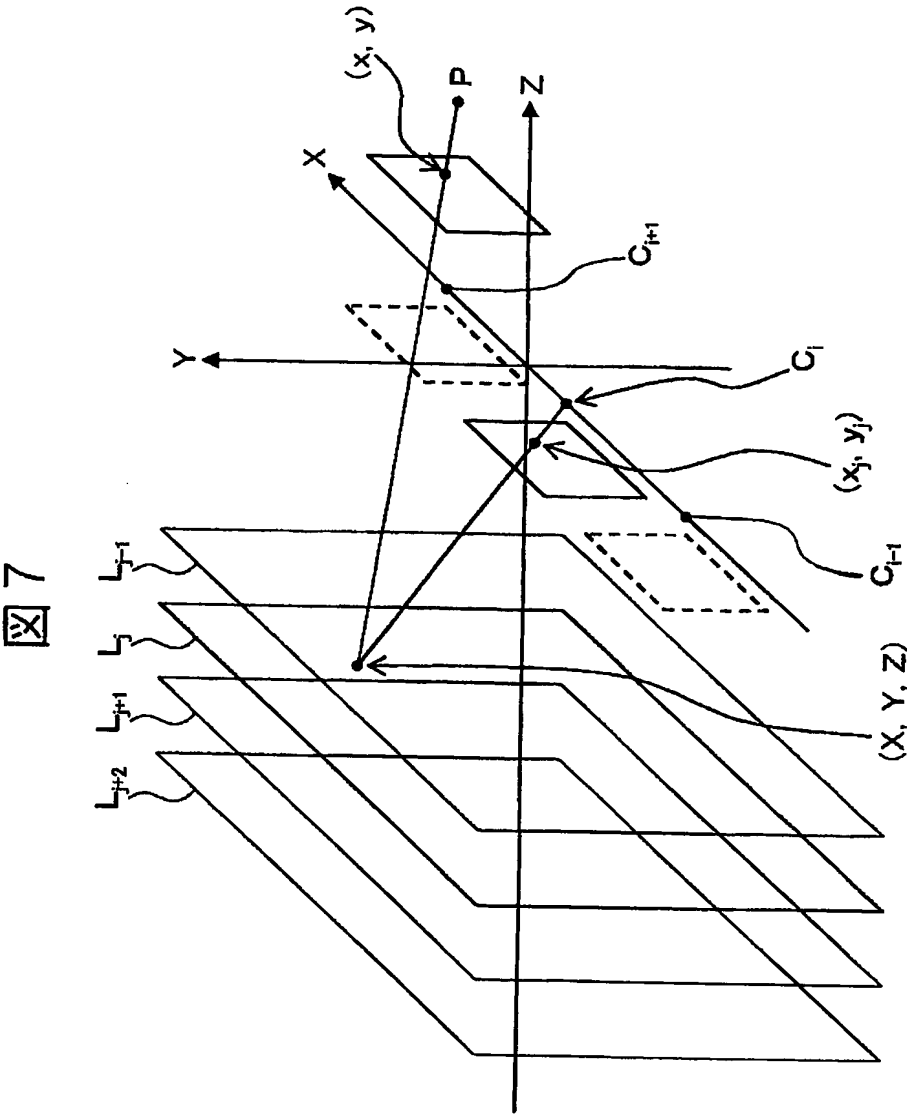
【図 5】



【図 6】



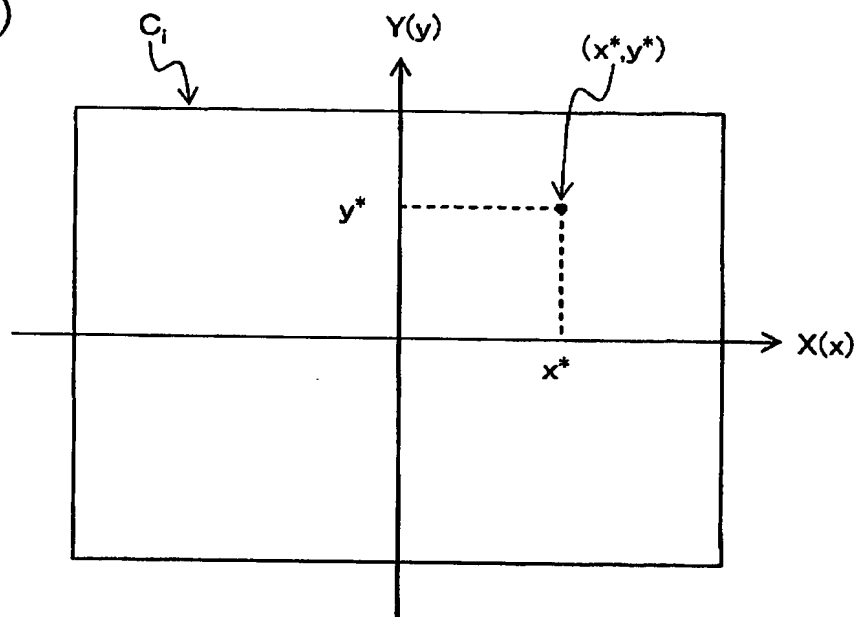
【図 7】



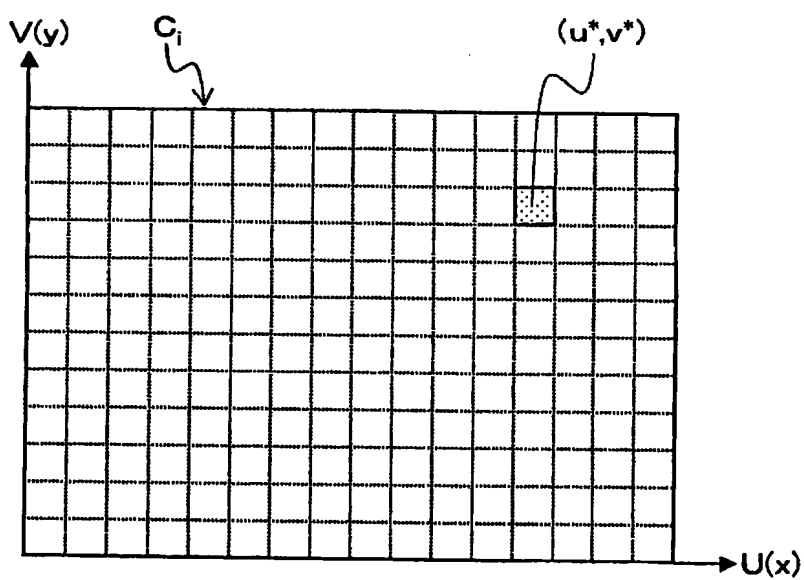
【図 8】

図 8

(a)

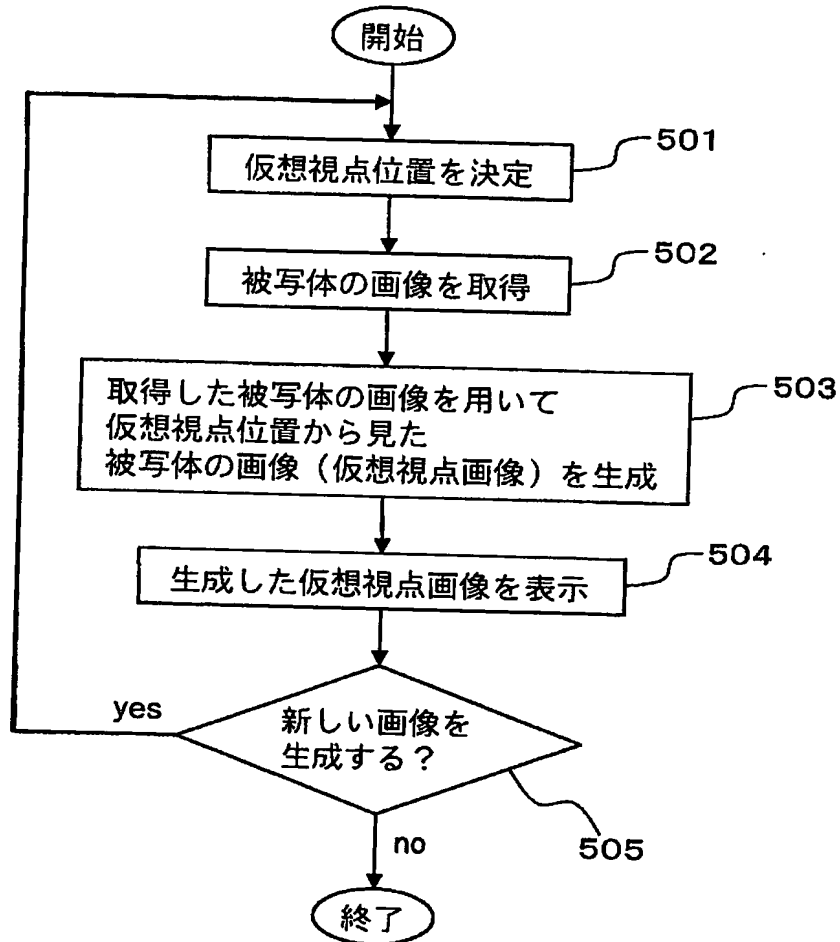


(b)



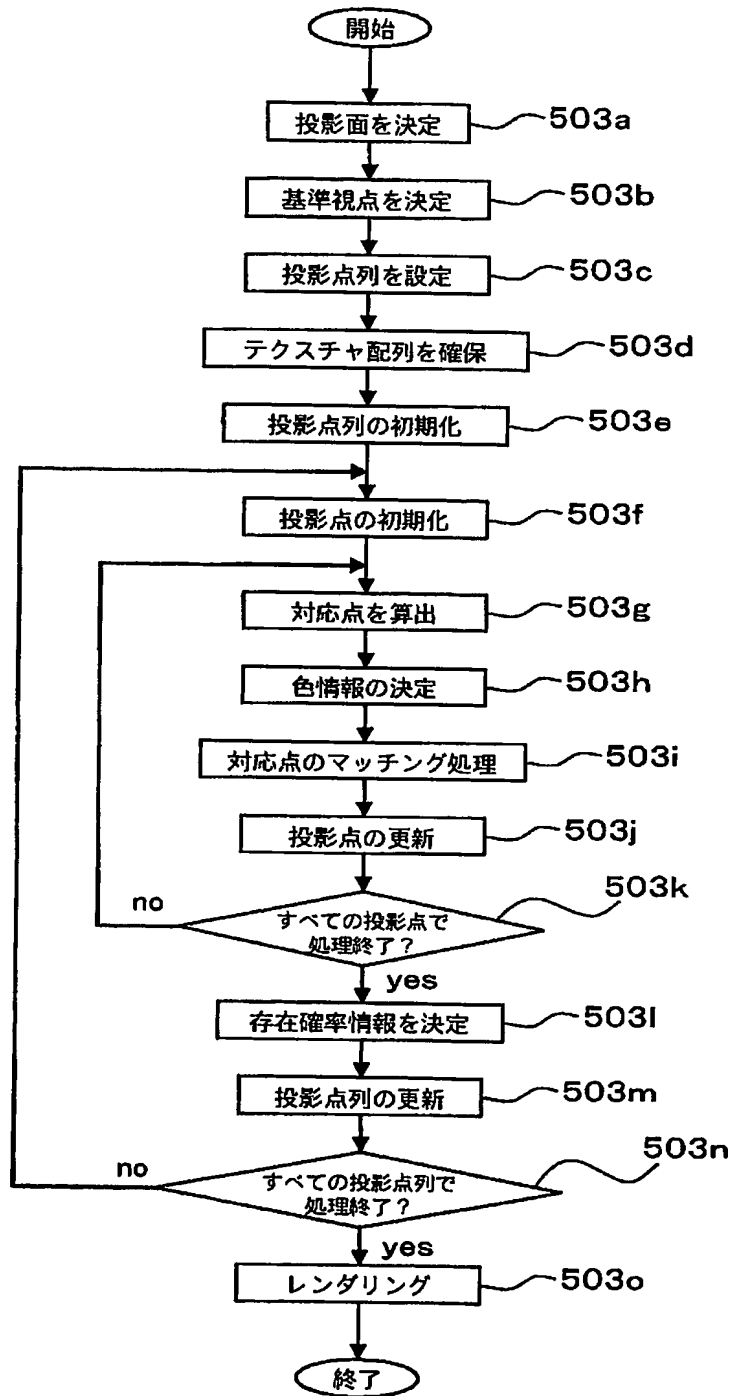
【図 9】

図 9



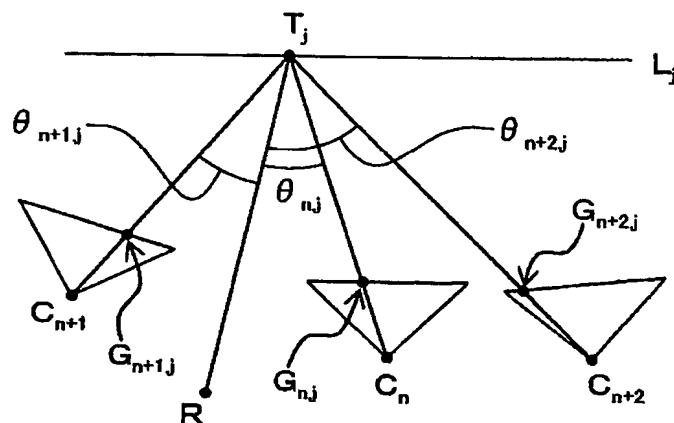
【図 10】

図 10



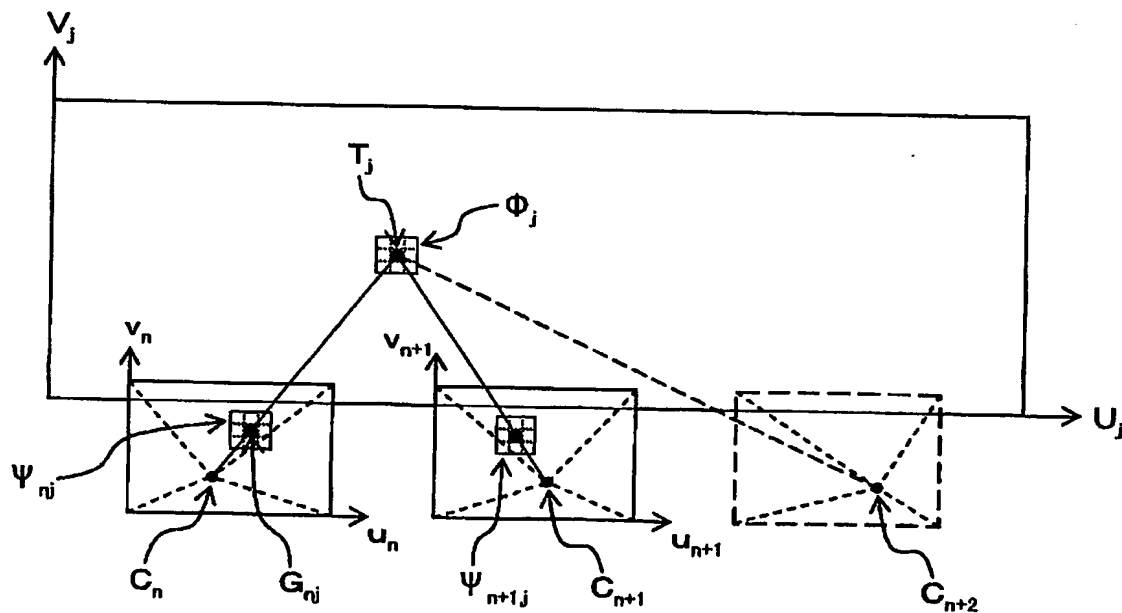
【図 13】

図 13



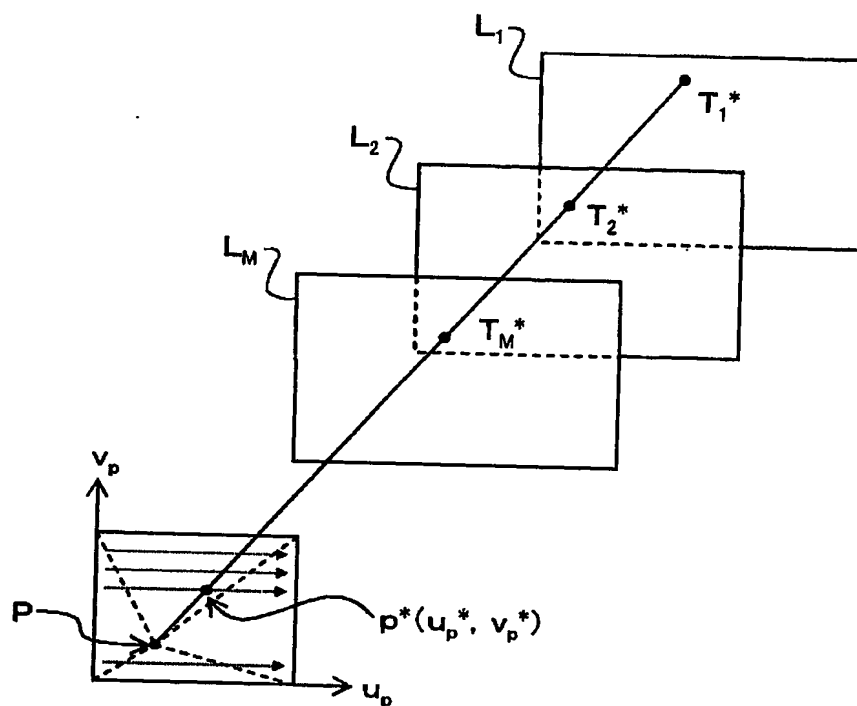
【図 14】

図 14



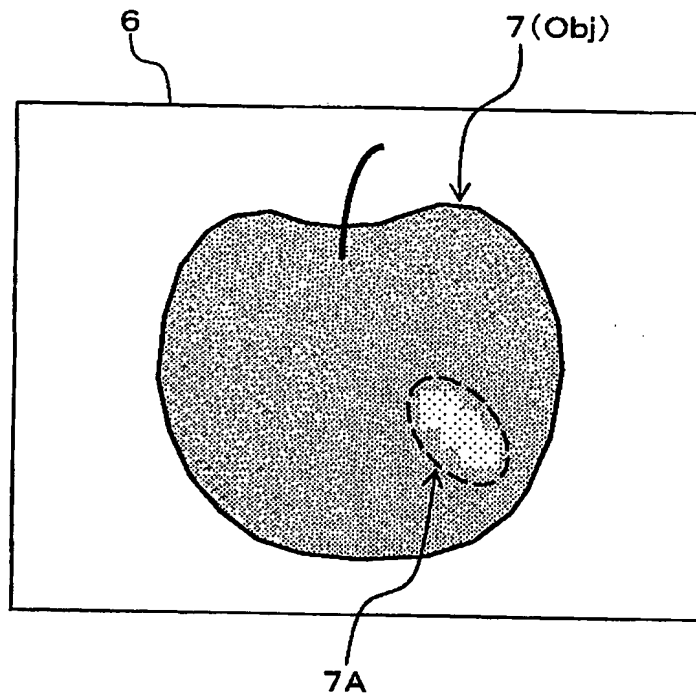
【図 15】

図 15

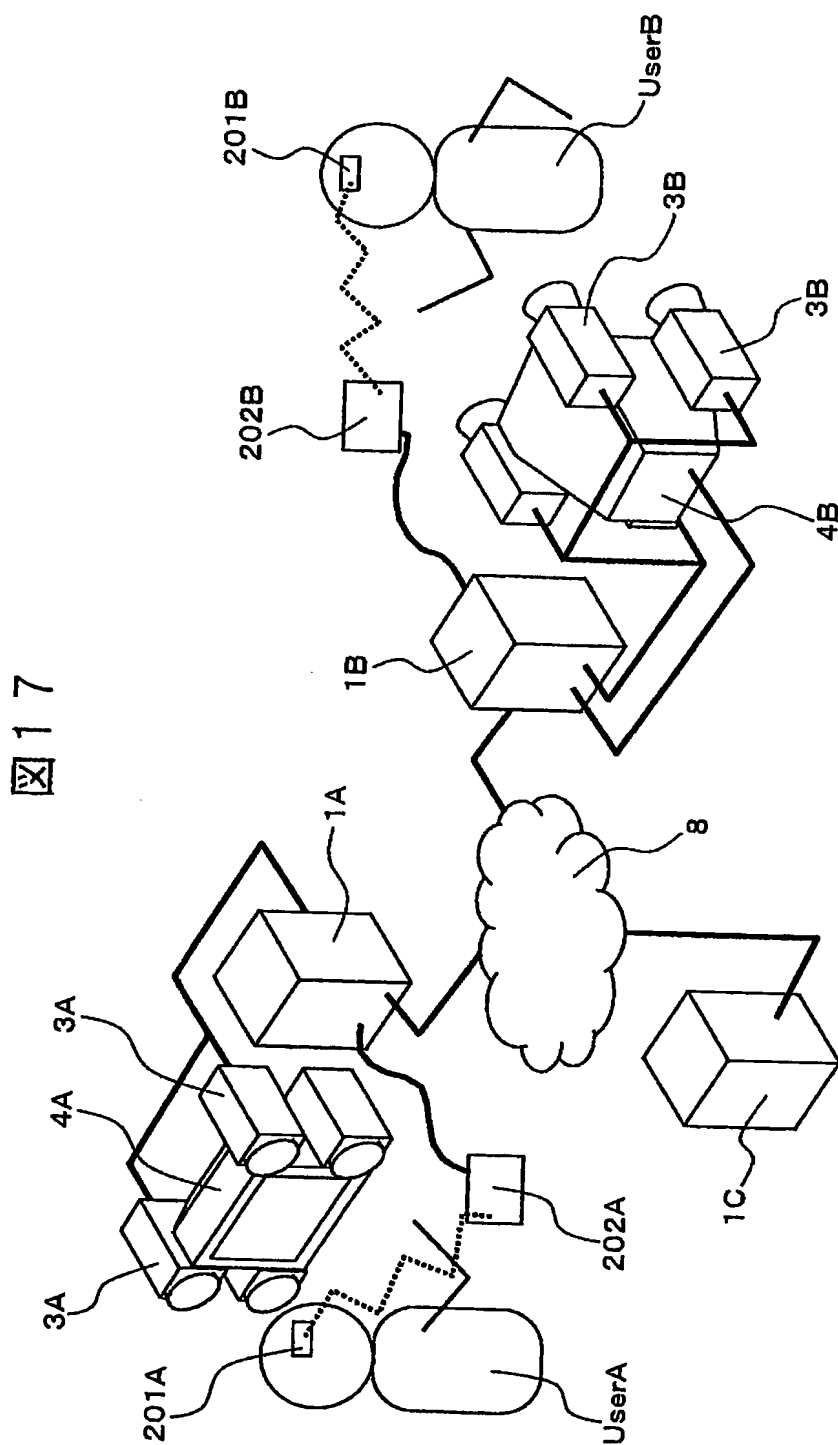


【図 16】

図 16



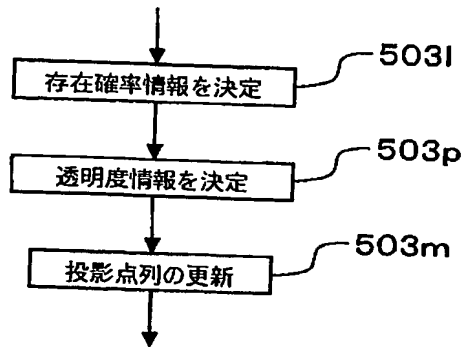
【図 17】



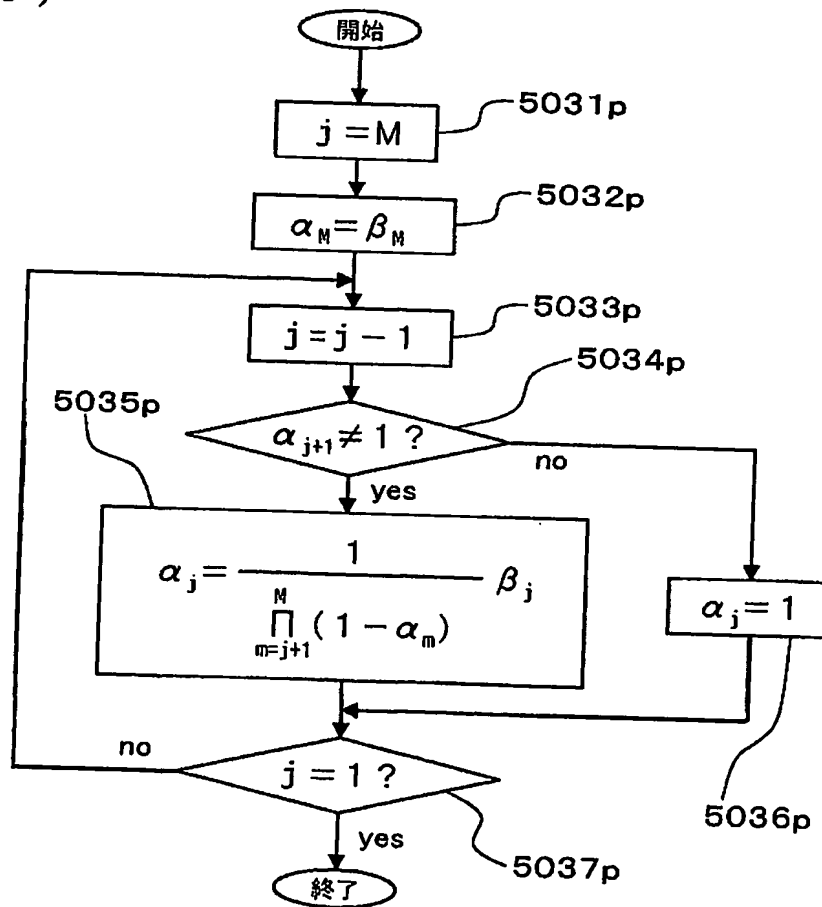
【図 18】

図 18

(a)

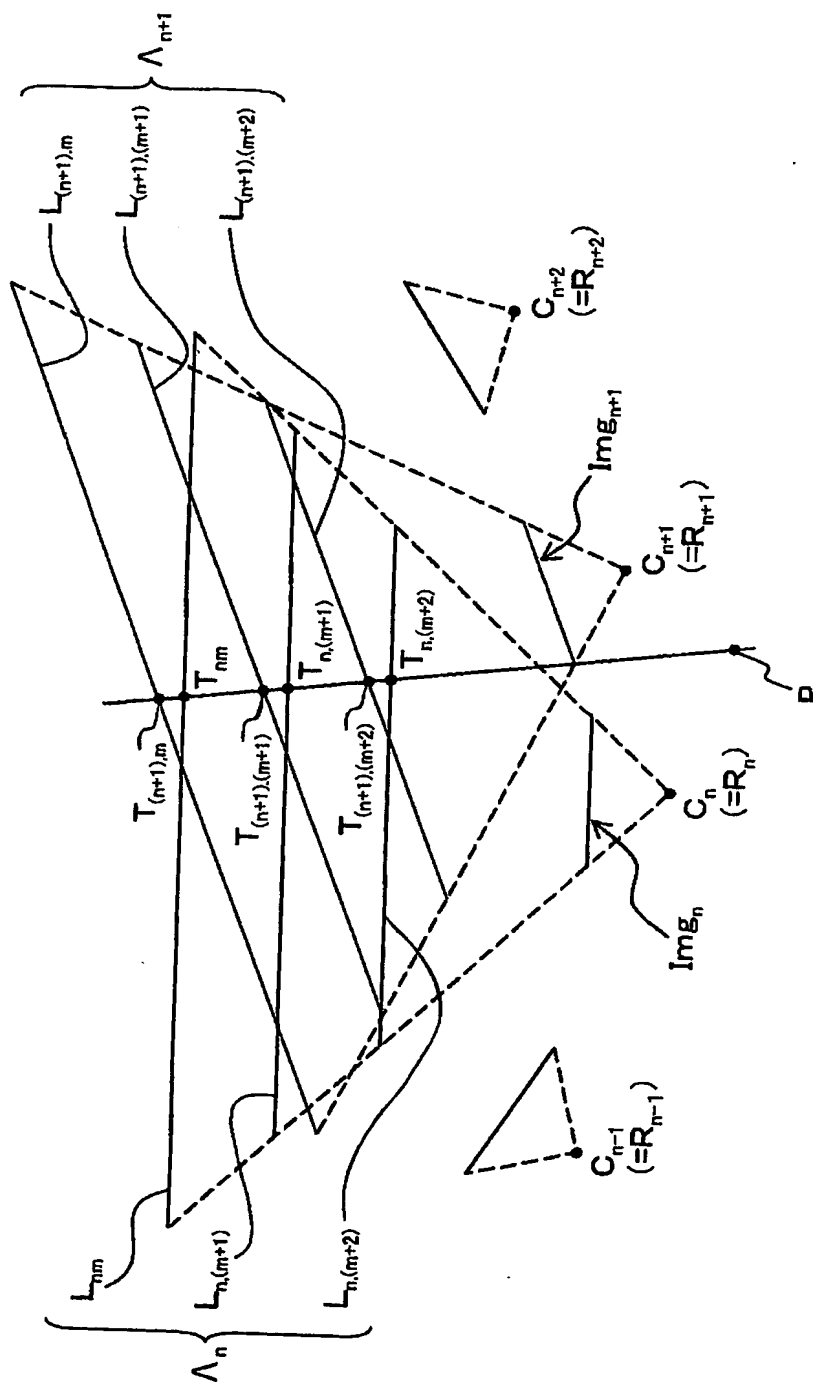


(b)



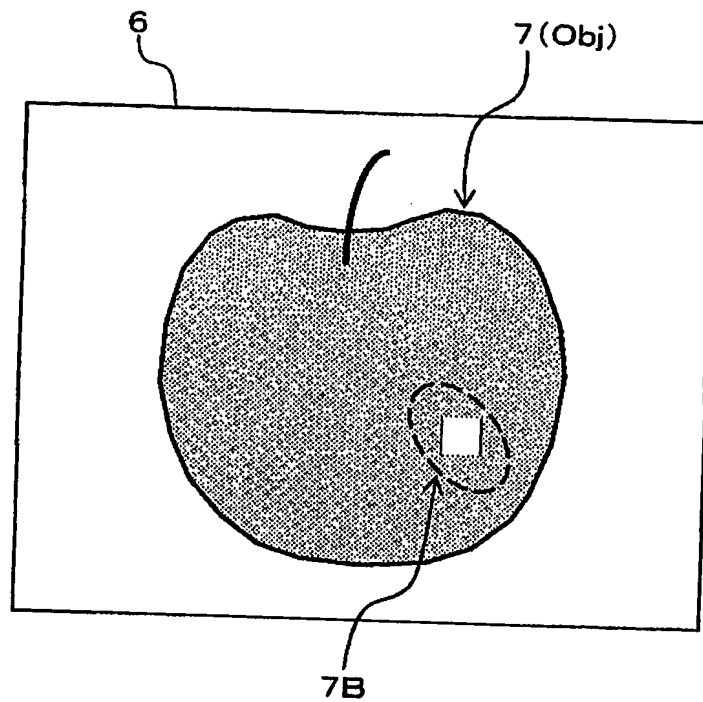
【図 19】

図 19



【図 20】

図 20



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 複数枚の被写体の画像をもとに仮想視点画像を生成する際に、被写体の位置推定の信頼性が低い部分で生じる画像の劣化を低減する。

【解決手段】 複数のカメラで撮影された複数枚の被写体の画像を取得するステップと、前記被写体を見る位置（仮想視点）を決定するステップと、前記取得した被写体の画像をもとに前記視点から被写体を見たときの画像（仮想視点画像）を生成するステップとを有する仮想視点画像生成方法において、前記仮想視点画像を生成するステップは、多層構造をもつ投影面を設定するステップ1と、前記投影面上の各点（投影点）と対応する、前記各被写体の画像上の点（対応点）を求めるステップ2と、複数の対応点の色情報に基づいて前記投影点の色情報を決定するステップ3と、空間上のある基準視点から見て重なり合う複数の投影点について、前記各投影点の位置に相当する距離に前記被写体が存在する可能性の度合いを、前記対応点もしくはその近傍領域の相関の度合いに基づいて計算するステップ4と、前記仮想視点から見て重なり合う基準点の色情報を、前記被写体が存在する可能性の度合いに応じた混合処理をして、前記仮想視点画像における各画素の色情報を決定するステップ5と、前記仮想視点画像の画素に相当するすべての点について、前記ステップ1からステップ5までを繰り返し行うステップ6とを有する仮想視点画像生成方法である。

【選択図】 図10

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 1 7 6 7 7 8
受付番号	5 0 3 0 1 0 3 5 3 1 4
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 5 年 6 月 2 3 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成 1 5 年 6 月 2 0 日
-------	--------------------

次頁無

特願 2003-176778

ページ： 1/E

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000004226]

1. 変更年月日
[変更理由]

1999年 7月15日

住所変更

住 所
氏 名

東京都千代田区大手町二丁目3番1号
日本電信電話株式会社